

ANA CAROLINA ALVES BERNABÉ

# A INFLUÊNCIA DA ENVOLTÓRIA NO CONSUMO ENERGÉTICO EM EDIFÍCIOS COMERCIAIS ARTIFICIALMENTE CLIMATIZADOS NA CIDADE DE VITÓRIA-ES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração de Construção Civil.

VITÓRIA  
2012

**ANA CAROLINA ALVES BERNABÉ**

# A influência da envoltória no consumo energético em edifícios comerciais artificialmente climatizados na cidade de Vitória.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração de Construção Civil.

Aprovada em \_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2012.

## COMISSÃO EXAMINADORA

---

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Cristina Engel de Alvarez**  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Orientadora

---

**Prof. Dr. Ing. João Luiz Calmon Nogueira da Gama**  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Examinador interno

---

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Jussara Farias Fardin**  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Examinador interno

---

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Roberta Consentino Kronka Multifarth**  
Universidade de São Paulo  
Examinador externo

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)  
(Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

---

B517i Bernabé, Ana Carolina Alves, 1981-  
A influência da envoltória no consumo energético em edifícios comerciais artificialmente climatizados na cidade de Vitória-ES / Ana Carolina Alves Bernabé. – 2012.  
132 f. : il.

Orientadora: Cristina Engel de Alvarez.  
Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico.

1. Energia elétrica - Consumo. 2. Edifícios comerciais - Vitória (ES). I. Alvarez, Cristina Engel de. II. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro Tecnológico. III. Título.

CDU: 624

Dedico, com amor e pesar, à memória de meu amigo

**Fernando Boechat Fanticele.**

## Agradecimentos

Ao meu pai, Juvenal, por ser meu grande e eterno companheiro não só na fase de mestrado,  
mas em toda minha vida.

À minha mãe, Taisi Helena, pela dedicação e exemplo. Meus passos são seus.

À minha irmã, Ana Cristina, por irradiar alegria.

À minha irmã, Ana Clara, pela amizade, zelo e, principalmente, por abraçar meus sonhos  
como se fossem seus.

Ao Eduardo, meu pequenino, por me mostrar, ainda sem perceber,  
que eu posso ser muito mais do que imagino.

Ao meu marido Yordan, pelo apoio e carinho.

À minha orientadora, Dr<sup>a</sup> Cristina Engel de Alvarez, pelo incentivo, motivação e carinho que  
juntos foram fundamentais para o desenvolvimento do trabalho.

À prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Jussara Fardin, pelo carinho e solicitude.

À prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Roberta Kronka, pela disponibilidade.

Ao prof. Dr<sup>o</sup> João Calmon, pelo voto de confiança em mim depositado ainda na fase inicial  
dessa jornada e pelo imenso carinho e conhecimento divididos.

Aos professores Fernando Avancini e Anselmo,  
que tanto acrescentaram ao meu conhecimento.

À Fapes pela bolsa concedida.

Ao pesquisador Raoni Venâncio pela auxílio na etapa de simulação.

Aos pesquisadores do LFTC-UFES pela grande ajuda,  
em especial ao amigo prof. Dr<sup>o</sup> Marcio Martins.

Aos meus colegas de mestrado pelos momentos compartilhados.

Aos LPPs, pela divisão de conhecimento e incansável ajuda.

Às minhas amigas pesquisadoras, Ana, Laila, Bruna, Glyvani, Priscila e Helena,  
sempre presentes e incentivadoras.

Às minhas amigas e colaboradoras, Fabienne, Aline Wanick, Aline Queiroz, Marcela Segatto,  
Kamila e Carolina, pela força e carinho. Eu as tenho como exemplo de vida.

Aos meus amigos, por compreenderem a minha ausência e torcerem pelo meu sucesso.

## Resumo

O desdobramento das cidades motivou a proposição de edificações cada vez mais verticalizadas, a fim de suprir as demandas do adensamento urbano. Ao longo do tempo, o desenvolvimento vertical esteve atrelado a novas tecnologias que, inicialmente convieram para que o arquiteto tivesse mais liberdade projetual. No entanto, a possibilidade de reproduzir modelos referenciados em um estilo moderno e internacional, fez com que alguns profissionais negligenciassem a estreita relação entre a arquitetura e o meio em que se insere, deixando a cargo dos sistemas artificiais, a garantia de conforto térmico para os usuários. O novo cenário energético, entretanto trouxe uma reflexão acerca da elevada demanda de consumo desse bem nas edificações, culminando em discussões, estudos e desenvolvimento de nova realidade, pautada nos conceitos de eficiência energética.

É dentro dessa perspectiva que esta pesquisa se insere. Tem-se, por objetivo, identificar como e quanto algumas estratégias arquitetônicas aplicáveis à envoltória e inseridas no contexto climático da cidade de Vitória-ES, podem influenciar no consumo energético de edifícios comerciais, verticalizados e condicionados artificialmente. Como metodologia, foram propostos 108 modelos parametrizados combinando valores para cinco variáveis investigadas, que são: orientação, percentual de abertura na fachada, fator solar, existência de proteção solar e absorvância das superfícies opacas. Esses edifícios foram modelados segundo um edifício de referência, para que todas as outras variáveis fossem controladas.

A análise, feita com base no consumo energético final, foi estabelecida de duas formas: a primeira contou com a classificação dos modelos que alcançaram o nível de eficiência A, através do procedimento estabelecido pelo RTQ-C (Regulamento Técnico de Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviço e Públicos); já a segunda contempla a análise da influência geral e individual de cada variável, bem como o potencial de incremento e redução do dispêndio energético de cada uma. Como resultado, verificou-se que a alteração das variáveis investigadas levou a uma redução de até 27,88% no consumo final para o modelo proposto. Os testes investigativos sugerem um potencial ainda maior de economia frente à utilização de *brises* mais adequados e indicam a relevância do controle de iluminação em alguns casos.

## Abstract

The deployment of cities have motivated the proposition of building more and more vertical in order to meet the demands for urban densification. Over time, the vertical development was linked to new technologies that initially came to give to the architect more projectual freedom. However, the possibility of reproducing models referenced in a modern and international style, led some professionals to neglect the close relation between architecture and the environment that it is inserted, leaving to artificial systems the role of ensuring thermal comfort for the users. However, the new energy scenario brought a reflection of the high demand for energy consumption in buildings, resulting in discussions, studies and development of a new reality, based on the concepts of energy efficiency.

It is within this perspective that the research falls. The goal is to identify how and how much some strategies applicable to architectural envelope and inserted in the climate context of Vitória-ES, can influence the energy consumption of commercial buildings verticalized and artificially conditioned. The methodology proposed 108 models parameterized matching values for five investigated variables, they are: orientation, window wall ratio, solar factor, the existence of sun protection and absorptance of the opaque surface. These buildings were modeled after a reference building, so all other variables were controlled.

As output data for the simulations we have established the final energy consumption. The analysis of these results was established in two ways. The first included the classification of the models that have achieved the level of efficiency through the procedure established by RTQ-C. The second involves the analysis of general and individual influence of each variable, and the potential for increase and reduction of energy expenditure of each one. As a result, it was found that changing the variables investigated led to a reduction of up to 27.88% in final consumption for the proposed model. The investigative tests suggest an even greater potential savings face to the most appropriate use of louvers and indicate the importance of lighting control in some cases.

## Lista de Abreviaturas

ES - Espírito Santo

RTQ-C- Regulamento Técnico de Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviço e Públicos

AIE – Agência Internacional de Energia

OIE - Oferta Interna de Energia

PIB - Produto Interno Bruto

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

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

EEE - Eficiência energética em Edificações

CA – Conforto Ambiental

ENCE - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia

PAF - Percentual de abertura na fachada

FS – Fator Solar

PS – Proteção Solar

TCU-ES - Tribunal de Contas da União do Estado Espírito Santo

U - Transmitância Térmica

ASUS - Ferramenta Avaliação de Sustentabilidade

LPP-UFES - Laboratório de Planejamento e Projetos da UFES

TRY - *Test Reference Year*

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

PDU - Plano Diretor Urbano

HVAC - *Heating, Ventilation, and Air Conditioning*

CoP - Coeficiente de Performance

MME - Ministério de Minas e Energia

OIEE - Oferta Nacional de Energia Elétrica

ER - Edifício Referência

## Lista de Figuras

Figura 1 – Exemplo de construções recentes com fachadas envidraçadas em Vitória. ....	26
Figura 2 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro definido pela NBR 15.220 .....	36
Figura 3 - Carta bioclimática para a Zona Bioclimática 8 da NBR 15.220.....	36
Figura 4- Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – ENCE .....	39
Figura 5 - Variáveis intervenientes no desempenho térmico de edificações .....	42
Figura 6 – Ilustração da proporção entre área de janela .....	43
Figura 7 – Incidência solar em superfícies translúcidas. ....	45
Figura 8 – Exemplo de aberturas com e sem proteção solar externa.....	47
Figura 10 - Incidência da radiação solar. ....	51
Figura 11 - Localização da Cidade de Vitória no Brasil .....	53
Figura 12 - Carta bioclimática com o TRY de Vitória. ....	54
Figura 13– Croqui perspectivo do modelo a ser simulado.....	62
Figura 14– Croqui perspectivo da planta pavimento tipo com a delimitação das zonas .....	62
Figura 15 - Método geral para modelagem, simulação e análise de um caso base .....	75
Figura 16 - Controle de iluminação em 3 passos.....	88

## Lista de Gráficos

Gráfico 1 - Crescimento demográfico frente ao aumento de consumo energético no período de 1990 a 2010.....	27
Gráfico 2– Estimativa de crescimento da emissão de CO <sub>2</sub> .....	29
Gráfico 3- Desenvolvimento do consumo energético e crescimento do PIB.....	30
Gráfico 4– Composição setorial do consumo de energia elétrica.....	31
Gráfico 5 - Normais Climatológicas de insolação do período entre 1961 a 1990 da cidade de Vitória. ....	55
Gráfico 6 - Normais climatológicas de Precipitação no período entre 1961 a 1990 da cidade de Vitória. ....	55
Gráfico 7 - Normais climatológicas de umidade no período entre 1961 a 1990 da cidade de Vitória. ....	56
Gráfico 8 - Normais Climatológicas das temperaturas máximas absolutas no período entre 1961 a 1990 da cidade de Vitória.....	56
Gráfico 9 - Normais Climatológicas das temperaturas mínimas absolutas no período entre 1961 a 1990 da cidade de Vitória.....	56
Gráfico 10 - Normais Climatológicas das temperaturas máximas no período entre 1961 a 1990 da cidade de Vitória.....	57
Gráfico 11 - Normais Climatológicas das temperaturas mínimas no período entre 1961 a 1990 da cidade de Vitória.....	57
Gráfico 12 - Normais Climatológicas das temperaturas médias no período entre 1961 a 1990 da cidade de Vitória.....	57
Gráfico 13 - Consumo energético do Edifício Referência 1.....	81
Gráfico 14 – Exemplo do gráfico utilizado para expressar o percentual de incremento no consumo energético.....	83
Gráfico 15 – Consumo energético dos edifícios voltados para N-S. ....	86
Gráfico 16 – Consumo energético dos edifícios voltados para L-O.....	86
Gráfico 17 – Composição do consumo energético de edifícios projetados sem <i>brise</i> . ....	87
Gráfico 18 – Composição do consumo energético de edifícios projetados com <i>brise</i> . ....	87
Gráfico 19 – Comportamento do consumo energético de edifícios com e sem <i>brise</i> .....	88
Gráfico 20 – Gráfico da alteração do consumo no teste do <i>brise</i> . ....	89

Gráfico 21 – Gráfico da alteração do consumo energético no teste do controle de iluminação nos edifícios protegidos com o <i>brises</i> .....	90
Gráfico 22 - Gráfico da alteração do consumo energético no teste do controle de iluminação nos edifícios sem os <i>brises</i> .....	91
Gráfico 23 – Consumo total dos modelos sem <i>brises</i> organizados pelo PAF.....	93
Gráfico 24 - Consumo total dos modelos <i>sem brises</i> organizados pelo PAF.....	93
Gráfico 25 – Gráfico do comportamento do consumo em edifícios sem <i>brises</i> frente .....	94
Gráfico 26 - Gráfico do comportamento do consumo em edifícios com <i>brises</i> frente.....	95
Gráfico 27 –Percentual de incremento no consumo energético com a alteração do PAF em modelos sem <i>brises</i> externos .....	96
Gráfico 28 - Percentual de incremento no consumo energético com a alteração do PAF em modelos com <i>brises</i> externos .....	96
Gráfico 29 - Consumo total dos modelos sem <i>brises</i> de acordo com a orientação dos edifícios.....	97
Gráfico 30 - Consumo total dos modelos com <i>brises</i> de acordo com a orientação dos edifícios.....	97
Gráfico 31 - Gráfico do comportamento do consumo em edifícios sem <i>brises</i> em relação à variação na orientação, sendo em (1) O.NS; e em (2) O.LO.....	98
Gráfico 32 - Gráfico do comportamento do consumo em edifícios com <i>brises</i> de acordo com a variação da orientação, sendo em (1) O.NS; e em (2) O.LO.....	99
Gráfico 33 - Percentual de incremento no consumo energético com a alteração da orientação em modelos sem <i>brises</i> externo. ....	100
Gráfico 34 - Consumo total dos modelos sem <i>brises</i> de acordo com o Fator Solar. ....	101
Gráfico 35 - Consumo total dos modelos com <i>brises</i> organizados de acordo com o Fator Solar.....	102
Gráfico 36 - Gráfico do comportamento do consumo em edifícios sem <i>brises</i> de acordo com a variação do FS, sendo em (1) FS26; em (2) FS74 3; e em (3) FS86. ....	102
Gráfico 37 - Gráfico do comportamento do consumo em edifícios com <i>brises</i> de acordo com a variação do FS, sendo em (1) FS26; em (2) FS74 3; e em (3) FS86. ....	103
Gráfico 38 - Percentual de incremento no consumo energético com a alteração do FS em modelos sem <i>brises</i> externo.....	104

Gráfico 39 - Percentual de incremento no consumo energético com a alteração do FS em modelos com <i>brises</i> externos.....	104
Gráfico 40 - Consumo total dos modelos sem <i>brises</i> organizados pela absorvância.....	105
Gráfico 41 - Consumo total dos modelos com <i>brises</i> organizados pela absorvância.....	105
Gráfico 42 - Gráfico do comportamento do consumo em edifícios sem <i>brises</i> de acordo com a variação do FS, sendo em (1) ABS30; em (2) ABS40; e em (3) ABS70.....	106
Gráfico 44 - Percentual de incremento no consumo energético com a alteração do FS em modelos sem <i>brises</i> externo.....	107
Gráfico 45 - Percentual de incremento no consumo energético com a alteração da absorvância em modelos com <i>brises</i> externo .....	108
Gráfico 46 - Consumo total dos modelos com <i>brises</i> de acordo com a proteção solar. ....	108
Gráfico 47 - Gráfico do comportamento do consumo em edifícios com PAF 30 de acordo com a variação da presença dos <i>brises</i> , sendo em (1), sem proteção; e em (2), com proteção...109	109
Gráfico 48 - Gráfico do comportamento do consumo em edifícios com PAF 60 de acordo com a variação da presença dos <i>brises</i> , sendo em (1), sem proteção; e em (2), com proteção...110	110
Gráfico 49 - Gráfico do comportamento do consumo em edifícios com PAF 80 de acordo com a variação da presença dos <i>brises</i> , sendo em (1), sem proteção; e em (2), com proteção...110	110
Gráfico 50 - Percentual de incremento no consumo energético com a Inserção dos <i>brises</i> externos.....	111

## Lista de Quadros

Quadro 1 - Decisões projetuais em cada etapa de projeto e em azul escuro as únicas respaldadas pela ASHRAE.....	34
Quadro 2 - Estratégias passivas sugeridas de acordo com a Carta bioclimática de Givoni.. ...	37
Quadro 3 - Base de dados para a caracterização dos edifícios. ....	59
Quadro 4 - Caracterização do padrão de ocupação e equipamentos do edifício-base para a simulação.....	63
Quadro 5 - Caracterização do padrão de ocupação e equipamentos do edifício-base para a simulação.....	64
Quadro 6 – Parâmetros de controle não variáveis na simulação. ....	65
Quadro 7 - Orientação proposta para a simulação dos edifícios.....	67
Quadro 8 - <i>Brisas</i> projetados para as aberturas e sua respectiva ação representados nas ....	68
Quadro 9 - Fatores Solares propostos para a investigação.....	69
Quadro 10 - Percentuais de Abertura na Fachada propostos.....	69
Quadro 11 - Absortâncias propostas para a investigação.....	70
Quadro 12 – Seleção de <i>softwares</i> de desempenho térmico. ....	71
Quadro 13 - Publicações relevantes na área de eficiência energética no âmbito nacional (Continua).....	72
Quadro 14 - Publicações relevantes na área de eficiência energética no âmbito nacional (Conclusão).....	73
Quadro 15 - Siglas utilizadas nas simulações. ....	74
Quadro 16 – Elementos construtivos e seus constituintes. ....	77

## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Transmitâncias determinadas pela NBR 15.220.....	38
Tabela 2– Parcela de ganho de carga térmica em cada fachada. ....	46
Tabela 3– Tabela de absortâncias .....	48
Tabela 4 - Estratégias bioclimáticas sugeridas em porcentagens.....	54
Tabela 5 - Limites de eficiência de condicionadores de ar do tipo <i>split</i> , para cada nível de eficiência.....	61
Tabela 6 – Valores estabelecidos pelo RTQ-C .....	62
Tabela 7 – Parâmetros variáveis para os modelos simulados.....	66
Tabela 8 - Configurações de aberturas utilizadas nas simulações. ....	78
Tabela 9 - Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação (DPI <sub>RL</sub> ) para o nível de eficiência A. ....	79
Tabela 10 – Porcentagens de economia e ou incremento no consumo no teste do <i>brise</i> .....	90
Tabela 11 - Porcentagens de economia e/ou incremento no consumo no teste do controle de iluminação no edifícios com o brise. ....	91
Tabela 12 - Porcentagens de economia e ou incremento no consumo no teste do controle de iluminação nos edifícios protegidos com os <i>brises</i> . ....	92
Tabela 13 – Os 20 edifícios com o pior desempenho nas simulações realizadas em relação ao consumo energético (Continua).....	112
Tabela 14 – Os 20 edifícios com o pior desempenho nas simulações realizadas em relação ao consumo energético (Continuação) .....	113
Tabela 15 – Os 20 edifícios com o pior desempenho nas simulações realizadas em relação ao consumo energético.(Conclusão).....	114
Tabela 16 – Os 20 edifícios com o melhor desempenho nas simulações realizadas em relação ao consumo energético (Continua).....	114
Tabela 17 – Os 20 edifícios com o melhor desempenho nas simulações realizadas em relação ao consumo energético (Continuação) .....	115
Tabela 18 – Os 20 edifícios com o melhor desempenho nas simulações realizadas em relação ao consumo energético (conclusão).....	116

## Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>18</b>
1.1 OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS.....	19
1.2 JUSTIFICATIVA .....	20
1.3 HIPÓTESE.....	21
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	21
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>23</b>
2.1 PROCESSO DE VERTICALIZAÇÃO DOS EDIFÍCIOS .....	23
2.2 A QUESTÃO ENERGÉTICA NO BRASIL .....	27
2.3 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NAS DECISÕES PROJETUAIS.....	30
2.4 NORMAS PRESCRITIVAS E REGULAMENTAÇÃO BRASILEIRA.....	33
2.4.1 ASHRAE – Standard 90.1 .....	33
2.4.2 ABNT - NBR 15.220 .....	35
2.4.3 PROCEL EDIFICA – Regulamento Técnico de Qualidade do Nível de Eficiência energética em Edificações (RTQ-C) .....	38
2.5 CARACTERIZAÇÃO DA ENVOLTÓRIA .....	41
2.5.1 Percentual de abertura na fachada (PAF) .....	43
2.5.2 Fator Solar (FS) .....	44
2.5.3 Orientação das fachadas .....	45
2.5.4 Proteção solar (PS) .....	46
2.5.5 Absortância térmica ( $\alpha$ ) .....	48
2.5.6 Transmitância térmica (U) .....	49
2.5.7 Fator Altura .....	50
2.6 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA E GEOGRÁFICA DE VITÓRIA.....	52
<b>3. METODOLOGIA .....</b>	<b>58</b>
3.1 RECORTE DO OBJETO: DEFINIÇÃO DO TIPO DE EDIFICAÇÃO .....	58
3.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	59

<b>3.3</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO DE REFERÊNCIA.....</b>	<b>59</b>
<b>3.4</b>	<b>TRIAGEM DAS VARIÁVEIS DE CONTROLE E DAS INVESTIGADAS NA SIMULAÇÃO....</b>	<b>65</b>
<b>3.5</b>	<b>ESCOLHA DO SOFTWARE.....</b>	<b>70</b>
<b>3.6</b>	<b>PROCESSO DE SIMULAÇÃO .....</b>	<b>73</b>
<b>3.6.1</b>	<b>Configuração do sítio.....</b>	<b>75</b>
<b>3.6.1.1</b>	<b>Definição de locação .....</b>	<b>75</b>
<b>3.6.1.2</b>	<b>Seleção do arquivo climático.....</b>	<b>76</b>
<b>3.6.1.3</b>	<b>Ajuste da temperatura do solo.....</b>	<b>76</b>
<b>3.6.2</b>	<b>Construção da Geometria.....</b>	<b>76</b>
<b>3.6.3</b>	<b>Configuração do modelo e modelagem.....</b>	<b>76</b>
<b>3.6.3.1</b>	<b>Atividade.....</b>	<b>76</b>
<b>3.6.3.2</b>	<b>Construção.....</b>	<b>77</b>
<b>3.6.3.3</b>	<b>Aberturas .....</b>	<b>78</b>
<b>3.6.3.4</b>	<b>Iluminação .....</b>	<b>78</b>
<b>3.6.3.5</b>	<b>Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (Heating, Ventilation, and Air Conditioning - HVAC) .....</b>	<b>80</b>
<b>3.7</b>	<b>SIMULAÇÃO.....</b>	<b>80</b>
<b>3.8</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>81</b>
<b>3.8.1</b>	<b>Processo de simulação.....</b>	<b>81</b>
<b>3.8.2</b>	<b>Classificação dos edifícios segundo o RTQ-C para a análise geral do consumo energético.....</b>	<b>81</b>
<b>3.8.3</b>	<b>Testes investigativos .....</b>	<b>82</b>
<b>3.8.4</b>	<b>Impactos das variáveis no consumo energético .....</b>	<b>82</b>
<b>3.8.4.1</b>	<b>Impacto geral da alteração das variáveis .....</b>	<b>82</b>
<b>3.8.4.2</b>	<b>Impacto individual da alteração das variáveis.....</b>	<b>82</b>
<b>3.8.4.3</b>	<b>Percentual do incremento no consumo frente a alteração das variáveis .....</b>	<b>82</b>
<b>3.9</b>	<b>RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>84</b>

<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>85</b>
4.1	PROCESSO DE SIMULAÇÃO .....	85
4.2	ANÁLISE GERAL DO CONSUMO ENERGÉTICO COM BASE NO RTQ-C.....	85
4.3	TESTES INVESTIGATIVOS.....	89
4.4	IMPACTOS DAS VARIÁVEIS NO CONSUMO ENERGÉTICO .....	92
4.4.1	Percentual de abertura na fachada .....	92
4.4.1.1	Impacto geral da alteração do PAF .....	92
4.4.1.2	Impacto individual da alteração do PAF.....	94
4.4.1.3	Percentual do incremento no consumo com a alteração do PAF.....	95
4.4.2	Orientação .....	97
4.4.2.1	Impacto geral da alteração da orientação.....	97
4.4.2.2	Impacto individual da alteração da orientação .....	98
4.4.2.3	Percentual do incremento no consumo de acordo com a alteração da orientação .....	100
4.4.3	Fator Solar .....	101
4.4.3.1	Impacto geral da alteração do FS.....	101
4.4.3.2	Impacto individual da alteração FS.....	102
4.4.3.3	Percentual do incremento no consumo de acordo com a alteração FS.....	103
4.4.4	Absortância .....	105
4.4.4.1	Impacto geral da alteração da absortância .....	105
4.4.4.2	Impacto individual da alteração da absortância.....	106
4.4.4.3	Percentual do incremento do no consumo frente a alteração da absortância	107
4.4.5	Proteção Solar .....	108
4.4.5.1	Impacto geral da alteração da proteção.....	108
4.4.5.2	Impacto individual da alteração da proteção .....	109
4.4.5.3	Percentual do incremento do no consumo frente a alteração da proteção.	111

<b>4.5</b>	<b>RECOMENDAÇÕES PROJETUAIS .....</b>	<b>111</b>
<b>5.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>118</b>
<b>5.1</b>	<b>CONSIDERAÇÕES GERAIS .....</b>	<b>118</b>
<b>5.2</b>	<b>CONSIDERAÇÕES ESPECÍFICAS.....</b>	<b>118</b>
<b>5.3</b>	<b>LIMITAÇÕES DO TRABALHO.....</b>	<b>119</b>
<b>5.4</b>	<b>SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>120</b>
<b>6.</b>	<b>REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>121</b>

# 1. INTRODUÇÃO

**Conforto** deve ser premissa para toda e qualquer arquitetura. Os espaços edificados surgiram para resguardar o homem das intempéries e desde o princípio, ainda sem qualquer tecnologia, buscavam-se soluções que criassem uma ambiência distinta da encontrada externamente, protegendo-se do frio, calor ou mesmo da umidade.

Com a evolução dos sistemas construtivos e o desenvolvimento de materiais mais elaborados, os arquitetos ganharam mais liberdade projetual. A possibilidade de separação da função entre a estrutura de um edifício e sua vedação motivaram a utilização de inserção de elementos como, por exemplo, o vidro. Em regiões de clima temperado, o efeito causado por esse material pode ser positivo, já que grandes superfícies envidraçadas tendem a receber e reter uma generosa quantidade de carga térmica, reduzindo assim, o uso de sistemas de calefação.

No entanto, a disseminação indiscriminada desses modelos, tidos como de “progresso”, fez com que algumas técnicas e soluções arquitetônicas adequadas a cada clima fossem negligenciadas.

A produção em massa e as facilidades de transporte, além da utilização de meios mecânicos para aquecimento e resfriamento dos ambientes, fizeram com que se utilizasse os mesmos materiais construtivos, e as mesmas soluções em locais com características climáticas diferentes (MULFARTH, 2002, p. 24).

Em regiões tropicais, a utilização do vidro em demasia tende a criar o efeito estufa aumentando a temperatura interna e sobrecarregando o uso do ar condicionado. Não obstante dessa realidade, a produção acelerada e industrializada do espaço construído, frente à necessidade imposta pelo mercado acabou suplantando algumas atribuições inerentes aos arquitetos. Assim, as questões térmicas e lumínicas passaram a ser solucionadas pelos engenheiros, ou seja, a garantia de conforto que poderia ser solucionada através de soluções arquitetônicas passou a ser substituída por sistemas complementares (CORBELLA, YANNAS, 2003).

Nesse momento, tanto a arquitetura internacional quanto a brasileira tiveram dos arquitetos a participação num plano inferior (MASCARÓ; MASCARÓ, 1992). Muitos deles abdicaram da

responsabilidade de propor soluções funcionais em troca da liberdade de projetar as denominadas “caixas de vidro” que satisfizessem seus ideais de estética (LAM, 1986, *apud* MAGALHÃES, 1993). Um levantamento elaborado por Goes (2001, *apud* CAPISTRANO, 2008) confirma que, a partir de 1960, o uso de proteções solares eficientes é negligenciado em edifícios no Rio de Janeiro, dando espaço às fachadas envidraçadas ou mesmo a elementos projetados com ênfase nas condições formais propostas à edificação, sem considerar as questões relacionadas ao conforto ou à eficiência térmica.

O elevado consumo de energia para manter esse tipo de edificação não era levado em conta em função do seu relativo baixo custo. Entretanto, a alteração do cenário energético acompanhado pela necessidade de revisão dos conceitos a partir da constatação da finitude dos recursos naturais trouxeram algumas premissas arquitetônicas ao foco das discussões. É dentro dessa perspectiva que se retoma o conceito de eficiência energética, destacando-se o que, a princípio, era inerente ao processo projetual, hoje é visto como um desafio para a recente geração de arquitetos atuantes no mercado.

## **1.1 OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS**

O objetivo principal desta pesquisa é identificar como algumas estratégias arquitetônicas aplicadas à envoltória de edifícios comerciais promovem o conforto térmico dos usuários e a efetiva redução do consumo de energia dessas construções, considerando a realidade climático/ambiental da cidade de Vitória, capital do Espírito Santo (ES).

Visando alcançar os resultados esperados, foram definidos como objetivos específicos:

- Revisar a literatura referente à influência da envoltória na eficiência energética bem como selecionar as normas relacionadas ao desempenho térmico de edificações visando estabelecer o necessário alicerce conceitual;
- Simular a demanda energética necessária para garantir o conforto térmico dos usuários em edifícios comerciais, através da criação de modelos;
- Identificar como e quanto algumas características arquitetônicas previamente definidas influenciam no consumo energético dos modelos propostos;

- Verificar quais desses modelos podem ser classificados como de maior eficiência segundo o Regulamento Técnico de Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviço e Públicos - RTQ\_C (MME, 2009b); e
- Estabelecer diretrizes projetuais que possibilitem soluções arquitetônicas que induzam às edificações energeticamente eficientes, considerando a realidade climática/ambiental de Vitória.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

O crescimento das cidades demanda a construção de novas - e cada vez mais verticalizadas -, edificações a fim de suprir a carência não só de moradia, mas de infra-estrutura imprescindível para o seu desenvolvimento. Por si só, os edifícios se encarregam de consumir um elevado contingente energético, não só na fase de construção, mas também – e principalmente –, na etapa de uso e operação.

Em se tratando de edifícios comerciais de múltiplos pavimentos, a questão energética é ainda mais sensível, já que não só seu grande porte, mas também a elevada geração de carga térmica interna – advinda, por exemplo, de equipamentos –, são entraves para um consumo de energia mais contido. No entanto, não se pode negligenciar o papel que a arquitetura tem nesse cenário. A reprodução de alguns modelos tem contribuído para um dispêndio energético, por vezes desnecessário, para a garantia do conforto de seus usuários.

Logo, a pesquisa em questão enfoca a real influência que a arquitetura – e especificamente a envoltória –, tem sobre edifícios comerciais verticalizados e artificialmente climatizados inseridos no contexto climático e ambiental de Vitória-ES. Partindo do pressuposto que a envoltória é definida na etapa de projeto, o principal público alvo a que se destinam os resultados da pesquisa são projetistas de edificações, cujo aprimoramento no processo de projeto é considerado como premissa fundamental para o alcance de edificações eficientes e de menor consumo energético.

### 1.3 HIPÓTESE

Considerando que:

- Há uma perceptível predominância da denominada “arquitetura internacional” nas soluções adotadas para a maioria dos edifícios comerciais construídos em Vitória nas últimas décadas;
- Os projetos arquitetônicos, em geral, ignoram os condicionantes climáticos específicos do local ou mesmo da região em que serão construídos;
- A demanda energética na etapa de uso/operação das edificações comerciais poderia ser reduzida a partir de projetos desenvolvidos considerando as potencialidades e restrições ambientais do entorno; e
- A envoltória é um elemento fundamental para a obtenção de conforto (térmico) com o mínimo dispêndio energético.

Considera-se como hipótese de trabalho a seguinte afirmativa: **é possível, através da adoção de elementos arquitetônicos da envoltória adequados à realidade climática/ambiental local, reduzir o consumo energético das edificações de uso comercial na cidade de Vitória.**

### 1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação foi organizada em seis capítulos, distribuídos da seguinte forma:

- o **capítulo 1**, destinado à introdução, é feita a contextualização da pesquisa, apresentam-se as justificativas, os objetivos, a hipótese, bem como a estrutura do trabalho;
- o **capítulo 2** refere-se à revisão bibliográfica relativa às questões energéticas, ao desenvolvimento da arquitetura sob o foco do consumo de energia, além de caracterizações tanto arquitetônicas quanto climáticas necessárias para o desenvolvimento da pesquisa;
- no **capítulo 3**, apresenta-se detalhadamente os procedimentos metodológicos da pesquisa;
- no **capítulo 4**, são apresentados e analisados os resultados obtidos nas simulações, além de serem listadas algumas recomendações projetuais para edificações

verticalizadas e destinadas ao uso comercial da cidade de Vitória, elaborado a partir dos resultados obtidos;

- no **capítulo 5** são feitos os comentários finais, avaliando-se os objetivos alcançados e indicativos para trabalhos futuros visando a continuidade e aprimoramento da pesquisa;
- e
- no **capítulo 6**, são listadas as referências utilizadas no desenvolvimento da pesquisa e citadas no texto.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica foi estabelecida considerando que o entendimento da temática principal da pesquisa – consumo energético em edificações verticais – passa, necessariamente, pela compreensão do processo de verticalização dos edifícios e pelo panorama da questão energética no Brasil. Considerando ainda que os principais problemas relacionados à eficiência das edificações ocorrem a partir da etapa de projeto, esse aspecto também foi avaliado, assim como as normas referenciais relativas ao tema. A revisão bibliográfica se complementa com o detalhamento do PROCEL EDIFICA (Regulamento Técnico de Qualidade do Nível de Eficiência energética em Edificações - RTQ-C), considerando ser a ferramenta fundamental utilizada na metodologia de análise proposta.

### 2.1 PROCESSO DE VERTICALIZAÇÃO DOS EDIFÍCIOS

O processo de verticalização das cidades, além de apresentar-se como consequência do adensamento das mesmas, representa, simbolicamente, um marco do desenvolvimento da região. Segundo Sirkis (2003), no início do século XX apenas 10% da população mundial residiam em áreas urbanas; em 2003, metade, ou seja, mais de 2,9 bilhões, já vivia em cidades. Por sua vez, Yeang (*apud* BERNABÉ, 2008) afirma que para o ano de 2020, 75% da população da Europa e 55% da Ásia, por exemplo, estarão vivendo em cidades, previsão esta que tende a se concretizar e que confirmam uma expectativa real do adensamento das mesmas.

Alguns autores (SOARES; RAMIRES *apud* GOMES, 2009) levantam a hipótese de que a verticalização não é um processo natural da urbanização; na verdade, é apenas uma das inúmeras possibilidades de apropriação do espaço e é definida, sobretudo, pelos interesses econômicos que envolvem a estruturação e o planejamento das cidades. Mascaró (2004) afirma que, geralmente, os edifícios mais altos estão localizados nos centros urbanos e em áreas onde a terra é mais valorizada. Tal afirmação se justifica quando esse modelo de desenvolvimento é avaliado sob a ótica de sobreposição dos solos e consequente valorização dos espaços.

No entanto, o edifício verticalizado é um relevante concentrador de impactos no espaço urbano, seja por uma avaliação individual, seja por uma percepção global da unidade com seu entorno. De acordo com Rutenbeck (*apud* GONÇALVEZ; ROMERO, 2002), o edifício alto é um empreendimento consumidor de grandes demandas energéticas, principalmente quando a avaliação está associada à poluição, aquecimento do ar, esgotamento e degradação das reservas naturais, e elevados custos para a infra-estrutura urbana necessária para este tipo de edifício.

É importante destacar que, independente da discussão que envolve a implantação ou não dos edifícios verticalizados nas cidades, os mesmos são construídos com uma demanda acelerada e devem ser reconhecidos como um processo tendencial dos centros urbanos. A despeito desses questionamentos de cunho sociológico, psicológico, urbanístico ou mesmo econômico, Gropius (1929, *apud* MASCARÓ, 2004) afirmou que

As construções altas não são boas nem más em si mesmas, pois existem diferentes condicionantes que levam a soluções distintas, onde haverá casos em que a solução mais adequada seja construções mais baixas e outros, em que a solução mais conveniente seja as altas.

Mascaró (2004) reforça que cada tipo de solução, sob a ótica da funcionalidade e das questões econômicas, tem suas vantagens e desvantagens, sendo necessárias avaliá-las para adotar a tipologia mais apropriada. Assim, um edifício alto pode ter significativo papel na insustentabilidade do espaço quando é projetado em um contexto inadequado, e ao mesmo tempo, se configura como um importante ponto estratégico de intervenção para se alcançar o desdobramento de espaços mais sustentáveis.

Motivado pelo conceito de “Cidades-Torres”, criado por *Auguste Pierrot* frente aos desafios desse adensamento, *Corbusier* (1981) defendeu que a construção de torres, elevadas a uma grande distância umas das outras, dão em altura o que até então se estendia em superfície, deixando, assim vastos espaços que empurram para longe das construções as ruas cheias de ruídos. Essa tipologia responde de forma eficiente ao fenômeno dos “negócios” nas cidades, reunindo os serviços, ao mesmo tempo que ameniza o desconforto dos grandes centros. Somado a esse fato, acrescenta-se que o aumento do número de pavimentos influencia de

forma positiva no custo de elementos como movimentação de terra, cobertura, solos, terreno, pois quanto mais andares são construídos, menor será a influência no custo desses fatores por pavimento.

Por outro lado, e sob outra ótica, Costa (*apud* GOMES, 2009) enfatiza que à proporção que se constrói verticalmente, aumenta-se a quantidade de superfícies expostas à radiação e, conseqüentemente, provoca-se mais acúmulo de calor e mais calor irradiado. Essa radiação excessiva somada a outras alterações advindas da urbanização podem provocar interferências urbanas como as “ilhas de calor” modificando as características originais do local, além de interferências no próprio edifício.

Corbella e Yannas (2003) afirmam que nas regiões de clima tropical, onde Vitória se encontra, “(...) a principal causa do desconforto térmico é o ganho de calor produzido pela absorção da energia solar que atinge as superfícies dos ambientes construídos” que, no caso de edifícios verticalizados, se torna um agravante e por consequência uma intrigante vertente para pesquisas visto a crescente ampliação de construções verticalizadas no Brasil.

O desenvolvimento vertical representa uma das características marcantes da urbanização brasileira, e algumas cidades como São Paulo e Rio de Janeiro tiveram um desenvolvimento vertical precoce em relação ao restante do país (RAMIRES, 1998), sendo este iniciado a partir de 1920, sobretudo em função de seu desenvolvimento econômico. Já Vitória, uma cidade de médio porte, que atualmente tem pouco mais de 330 mil habitantes (IBGE, 2012), apresenta uma demanda significativa de verticalização de suas edificações somente a partir da década de 70 do século passado, com perceptível incremento na última década.

O Centro da cidade foi o pioneiro na verticalização, seguido do leste da Ilha de Vitória, representado pelo bairro Praia do Canto, onde esse processo se torna expressivo. Mendonça *et al.* (*apud* GOMES, 2009) ressaltam que incentivos através de financiamentos concebidos pelo Sistema de Financiamento da Habitação do Banco Nacional da Habitação fomentaram o aumento das construções nessa região, principalmente pelo fato dessa facilidade ser viabilizada também para as construtoras, que encontraram, na verticalização, uma forma de compensar o elevado valor da terra nessa área e de outras que futuramente passaram pelo

mesmo processo. A partir da década de 80 do século passado, outros bairros como, Barro Vermelho, Santa Lúcia e Enseada do Suá passaram a apresentar um significativo processo de crescimento vertical, sendo que, os dois primeiros são caracterizados por edifícios residenciais e o último com predominância no uso comercial.

Com uma breve análise da realidade dos edifícios comerciais de Vitória, principalmente os construídos recentemente, é possível identificar que muitos deles possuem fachadas amplamente envidraçadas, levando ao questionamento sobre a real existência de estudos que garantam o conforto térmico, tanto dos usuários diretos (Figura 1) como dos transeuntes em suas proximidades.



Figura 1 – Exemplo de construções recentes com fachadas envidraçadas em Vitória.

Em modelos como os apresentados na Figura 1, o excesso de radiação é comumente amenizado com a utilização de películas aplicadas nos vidros. No entanto, essas, além de bloquearem parte da radiação, diminuem a entrada de luz natural, fazendo com que o ambiente dependa da iluminação artificial para o conforto de seus usuários. Salvo as questões ligadas à luminosidade e, ainda que se filtre parte da radiação, os ganhos térmicos gerados pela excessiva presença de componentes translúcidos são consideravelmente maiores do que os componentes opacos.

Como resultado desse modelo, têm-se ambientes internos com ar condicionados sobrecarregados; visão para o exterior impedida pelo uso de persianas e, com isso, a iluminação natural praticamente suprimida. Seguindo uma tendência a princípio internacional e com forte rebatimento no Brasil, atualmente busca-se uma relação mais harmoniosa entre o ambiente construído e o natural, adotando o pressuposto de que ainda não se dispõe de tecnologias que permitam ao homem construir sem causar impactos

(SOUZA, ALVAREZ; 2009). Dessa forma, a reprodução desses modelos de alto consumo energético, torna-se consensualmente incoerente, frente ao atual cenário de busca de energia e eficiência nos sistemas construtivos.

## **2.2 A QUESTÃO ENERGÉTICA NO BRASIL**

Desde a crise do petróleo, causada pela redução do fornecimento, em 1973, a questão energética vem sendo debatida com maior ênfase em por praticamente todo o mundo, principalmente, nos países desenvolvidos e dependentes desse recurso em sua matriz energética. Já o Brasil, manteve-se numa posição favorável nesta época em relação a outros países, uma vez que a produção de energia está, em grande parte, fundamentada em fontes renováveis (MME, 2008).

No entanto, em meados da década de 80 do século passado, o país passa a sofrer alguns problemas relacionados à energia, principalmente quando o crescimento da demanda supera o crescimento da produção, impulsionando as primeiras ações com relação à eficiência energética no Brasil. Como exemplo, destaca-se a criação do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), que foi instituído pelo Ministério de Minas e energia (MME), em 1985, com o objetivo de promover a ampliação da produção e a racionalização do consumo energético de eletricidade contribuindo para eliminação de desperdícios e redução de custos e investimentos setoriais. Desde então, o programa tem trabalhado de forma abrangente, lançando mão de parcerias e coordenando pesquisas e programas em todo o país, tornando-se assim o principal órgão de nacional de implementação de eficiência (CARRIÈRES, 2007).

Apesar desses esforços e, provavelmente em consequência da ausência ou do mau planejamento no setor, em 2001 o país enfrentou uma forte crise energética, obrigando quase toda a população a cumprir um plano de racionamento, tendo como meta a redução de 20% do consumo de eletricidade (DIEESE, 2001). O ano também foi marcado com a criação da Lei nº 10.295, que estabelece níveis máximos de consumo específico de energia para máquinas e aparelhos elétricos fabricados ou comercializados no País (BRASIL, 2001b). Nessa época, a política de redução do consumo energético provocou uma alteração nos

hábitos dos usuários, bem como o incentivo para a substituição de alguns equipamentos por outros mais eficientes.

No entanto, em países em desenvolvimento como o Brasil, o grande aumento populacional, a rápida inversão da forma de vida rural para a urbana - mais sofisticada em relação à infraestrutura e tecnologia disponíveis –, bem como a introdução de energia onde antes não chegava a possibilidade desse consumo, se mostram como importantes causas do contínuo aumento na demanda de consumo *per capita* conforme demonstrado no Gráfico 1 (LAMBERTS, TRIANA, 2007).

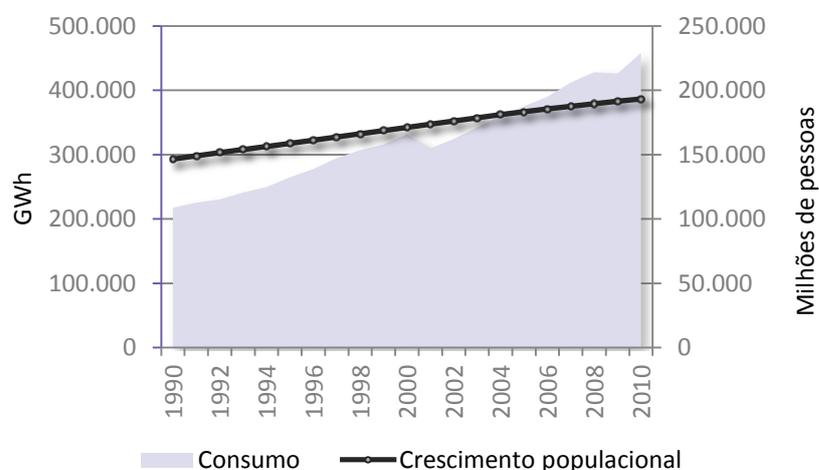


Gráfico 1- Crescimento demográfico frente ao aumento de consumo energético no período de 1990 a 2010. Fonte: elaborado a partir de dados do IBGE (2010); MME (2011).

Ainda que o Brasil contemple a Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE) com uma matriz predominantemente renovável, com 89,9% da oferta final em 2009 - sendo 77,3% oriunda da produção de usinas hidrelétricas (MME, 2011) –, sabe-se que até sua expansão tem sido fortemente discutida contrapondo-se questões de cunho ambiental a interesses econômicos como foi o caso da instalação da Usina de Belo Monte Volta Grande no rio Xingu (MUNICÍPIO, 2011; LUXETE, 2011; AGÊNCIA EFE, 2011; TRIGUEIRO, 2011). Acrescente-se a tal quadro as questões de natureza tecnológica e, até mesmo, regulatórias, que representam restrições para o desenvolvimento do potencial hidrelétrico brasileiro.

Esses e outros entraves fomentam a mudança do cenário energético. Conforme dados do Ministério de Minas e Energia (MME, 2007), a porcentagem de consumo energético a partir de fontes renováveis que em 2000 era de 13% tende a cair, conforme projeção, para 8% em

2030. A energia hidráulica segue com o maior montante entre as fontes de produção, porém, sua participação cai para pouco mais de 70%. De acordo com a mesma fonte, em contrapartida, a geração térmica convencional (nuclear, gás natural e carvão mineral) expande sua participação de 7% para de 15% e as fontes não convencionais e não-hidráulicas (biomassa da cana, centrais eólicas e resíduos urbanos) também apresentam um crescimento expressivo, passando a responder por mais de 4% da oferta interna de eletricidade (MME, 2007).

A composição da expansão somada ao, já descrito, aumento de consumo têm um papel significativo na crescente fatura de emissões de CO<sup>2</sup> (Gráfico 02). O nível dessas emissões deverá se ampliar com taxas médias de crescimento abaixo das taxas da demanda interna de energia. No entanto, projetam-se emissões de pouco mais de 770 milhões de toneladas de CO<sup>2</sup> em 2030, com taxa média anual de 3,5% sobre 2005, sendo os derivados de petróleo, os maiores contribuintes para as emissões (MME, 2007).

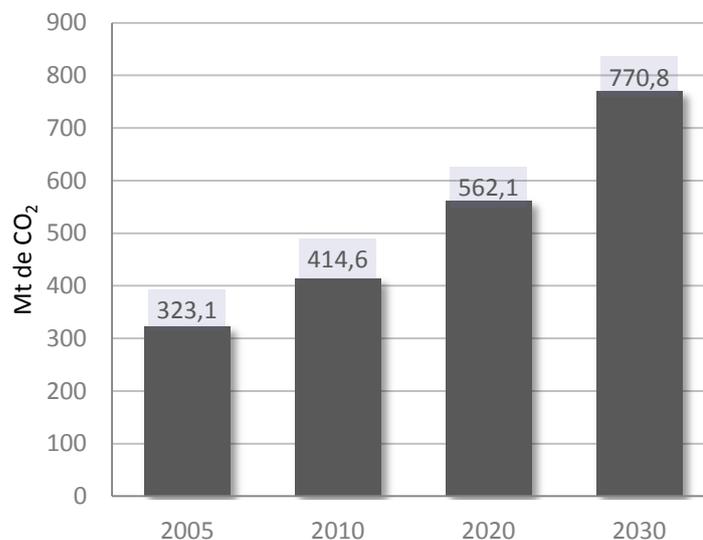


Gráfico 2– Estimativa de crescimento da emissão de CO<sup>2</sup>.  
 Fonte: elaborado a partir de dados do MME (2007).

O Gráfico 3 demonstra a evolução do consumo *per capita* e do Produto Interno Bruto (PIB) no período entre 1990 e 2010, sugerindo que o desenvolvimento da economia nem sempre representou, na mesma proporção, aumento na eficiência energética nas edificações.

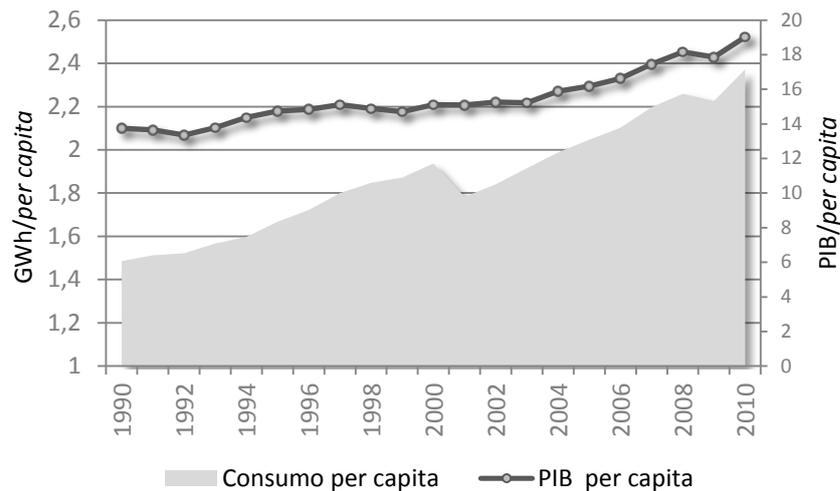


Gráfico 3- Desenvolvimento do consumo energético e crescimento do PIB  
Fonte: elaborado a partir de dados do IBGE (2011) e MME (2011).

Ainda que nos últimos anos, as ações do Procel tenham apresentado resultados significativos, proporcionando um equilíbrio entre a evolução desses dois indicadores, o contínuo aumento do PIB em países em desenvolvimento aumenta também a expectativa de conforto da população e, por consequência, a aquisição de equipamentos consumidores de energia. Essa referência reforça a necessidade de incremento nas medidas mitigadoras, principalmente nas decisões projetuais, visto sua forte influência na eficiência energética.

## 2.3 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NAS DECISÕES PROJETUAIS

Buscar a eficiência energética em edifícios significa obter um mesmo serviço com baixo dispêndio de energia, ou seja, uma edificação é mais eficiente que outra quando proporciona as mesmas condições ambientais de conforto com um menor consumo energético (LAMBERTS *et al.*, 1997). O esforço para redução dessa demanda de energia deve ser considerado desde a concepção do projeto arquitetônico, uma vez que o mesmo tem influência direta e indireta no consumo.

Para atingir esse satisfatório desempenho, o arquiteto deve contemplar as questões energéticas desde as primeiras etapas de projeto. Golding (*apud* PEDRINI; HYDE, 2001) afirma que as decisões iniciais de um projeto são, de fato, as mais influentes para o desempenho energético das edificações. Segundo Lamberts, Ghisi e Ramos (2006), o comportamento térmico de um edifício depende fundamentalmente de decisões tomadas

nas primeiras fases do projeto arquitetônico, tais como: volumetria, orientação das fachadas, áreas, posicionamento e sombreamento das janelas, sistemas construtivos de paredes e coberturas, cores expostas ao sol, entre outros. Assim, as temperaturas internas dependerão do efeito conjunto entre diversos parâmetros, bem como do clima e das características físicas do lugar.

Estima-se que um projeto adequado a realidade em que se insere e planejado com base nos preceitos da eficiência energética, pode ter seu consumo reduzido em até 30%, quando comparado a outro que ofereça condições de conforto similares, porém não projetado de acordo com os condicionantes ambientais do entorno imediato (SIGNOR, 1999).

Em 2001, Magalhães publicou que, de maneira geral, 72% do consumo de energia elétrica são destinados à iluminação e condicionamento do ar (MAGALHÃES, 2001), acreditando-se que proporcionalmente, tal situação deva permanecer para os dias atuais (Gráfico 4). Correia (2007) identificou resultados semelhantes em pesquisa feita com base no uso final de energia em edifícios atendidos por alta tensão: 47% para condicionamento do ar, 22% destinados à iluminação e 31% para as demais cargas do edifício.

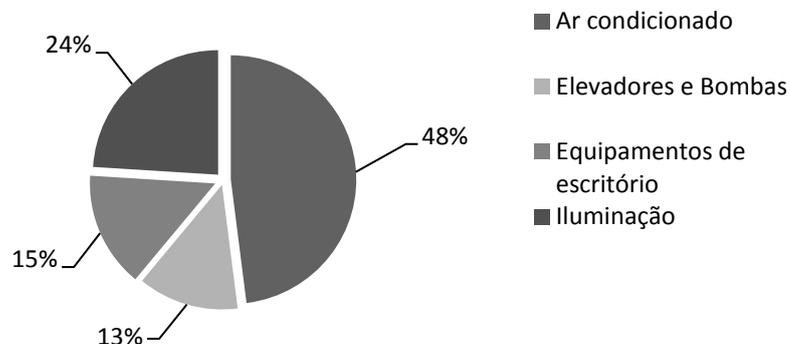


Gráfico 4– Composição setorial do consumo de energia elétrica.  
 Fonte:elaborado a partir de Magalhães (2001).

De acordo com o Procel (MME, 2012) calcula-se que quase 50% da energia elétrica produzida no país sejam consumidas não só na etapa de operação e manutenção das edificações, como também nos sistemas artificiais, que proporcionam conforto ambiental para seus usuários, como iluminação e climatização. Destaca-se que esses serviços estão diretamente ligados à relação entre o clima e as decisões projetuais.

A barreira que ainda existe entre os profissionais e o planejamento de um bom desempenho da edificação é, segundo Cândido (2010), a consequência de um quadro regulamentar pouco rigoroso e da falta de profissionais com um treinamento interdisciplinar que o habilite a aplicar tecnologias passivas de eficiência energética ainda na fase inicial do projeto. Em geral, os arquitetos consideram as questões técnicas como um limitador para sua criatividade de liberdade projetual e se sentem pouco responsáveis por elas. A falta de conhecimento específico por parte desses profissionais desmotiva a inserção de algumas estratégias nas fases iniciais e de maior potencial de contribuição para a maximização do desempenho da edificação (MACIEL, 2007).

Dutra (1994) destaca que muitos aspectos físicos do conforto ambiental são ainda obscuros para os pesquisadores, distanciando a possibilidade de solução dos problemas da praticidade e operacionalidade necessárias ao projeto. O desenvolvimento desses requer um elevado conhecimento das características climáticas e ambientais do local, das estratégias arquitetônicas ideais para cada caso, além do uso de *softwares* que equacionam o alcance das medidas tomadas.

Pedrini e Hyde (2001) afirmam que após quatro décadas de desenvolvimento de *softwares* termo-energéticos, a realidade é que esses ainda não são disseminados em escritórios de arquitetura e engenharia. Em pesquisa desenvolvida na Holanda, Wilde (2004, *apud* VENANCIO, 2007), afirma que a maioria dos arquitetos (67%) não utiliza ferramentas de suporte às decisões arquitetônicas e, aproximadamente 80% dessas decisões referentes à seleção de estratégias passivas de condicionamento ambiental é realizada de forma intuitiva e sem considerar outras alternativas.

A pouca difusão desses conhecimentos que norteiam a eficiência energética de edifícios também é causa do elevado consumo de energia. E, se por um lado nem as elevadas taxas de emissão de CO<sup>2</sup> - uma das causas do efeito estufa - foram suficientes para promover iniciativas individuais de contenção do gasto energético, por outro, ações governamentais se empenham em incentivar essa redução. Considerando que grande parte da energia elétrica do país é consumida por edificações e dentre elas, as de uso comercial, público e residencial

consomem cerca de 45% do total, esses setores vem sendo alvo de relevantes medidas de contenção energética (MME, 2011).

É um exemplo dessas ações, o **Decreto Nº 4059** (BRASIL, 2001a) que regulamentou a já citada Lei 10.295, estabelecendo níveis máximos de consumo de energia e mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no País, regulamentando os aspectos inerentes às edificações construídas. Também merecem destaques a norma **NBR 15.220** (ABNT, 2005a) e o programa **PROCEL EDIFICA** (ELETROBRÁS, 2009) com seus regulamentos.

## 2.4 NORMAS PRESCRITIVAS E REGULAMENTAÇÃO BRASILEIRA

Tanto os regulamentos, quanto as normas brasileiras têm como referência as normas da ASHRAE – *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* – que antecede suas criações, além de encaminhar e respaldar algumas de suas diretrizes.

### 2.4.1 ASHRAE – Standard 90.1

A norma ASHRAE 90.1 é precursora e bastante conhecida internacionalmente. Em 1975, foi divulgada sua primeira edição - a *Standard 90* -, que passou por revisões em 1980 e 1989 quando divulgou sua norma de eficiência energética para edificações não-residenciais, a *Standard 90.1 – Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*, com aprimoramentos em 1999, em que passou a utilizar um método prescritivo, um sistema de permutação (*trade off*) e o *Energy Cost Budget*, sendo a última revisão em 2004.

Segundo Carlo (2008, p. 13),

[...] o método prescritivo indica limites máximos ou mínimos de transmitância térmica de elementos opacos e transparentes, resistência térmica de isolamentos e fator solar de vidros de acordo com a área de janela na fachada e orientação solar.

Já o método de permutação possibilita que limites de eficiência que tenham ultrapassado os limites do método prescritivo possam ser compensados por outros parâmetros mais rigorosos. A autora destaca ainda que o *Energy Cost Budget* utiliza a simulação computacional do consumo de energia de dois modelos, em que os arquétipos de dispêndio

de energia são comparados. Sendo assim, um modelo deve seguir os parâmetros do método prescritivo, mas deve ser elaborado sem que os custos de seu consumo ultrapassem os custos do modelo de projeto.

A norma indica valores mínimos e máximos não só para a envoltória do edifício, mas para seus sistemas de climatização e iluminação. De acordo com ASHRAE (2004), são apresentadas duas prescrições gerais para todos os climas: uma específica a área de superfície translúcida vertical, deve ser menor que 50% de toda parede; e a outra recomenda que a área de superfície translúcida horizontal, que deve ser menor do que 5% da área coberta. O objetivo das recomendações é apenas eliminar o uso abusivo do vidro em fachadas e coberturas, para minimizar os ganhos e perdas de calor.

É importante ressaltar que a norma foi planejada segundo 8 (oito) zonas bioclimáticas americanas, no entanto, a mesma extrapola as recomendações para outros países, e dentre eles, o Brasil. São contempladas na listagem, 8 (oito) cidades brasileiras, sendo essas divididas em apenas 2 zonas: a zona 01 que compreende as cidades de Belém, Fortaleza, Recife, Salvador e Rio de Janeiro; e a zona 02 incluindo Brasília, Porto Alegre e São Paulo (ASHRAE, 2004). Apesar de Vitória não ser mencionada, é possível identificar uma similaridade climática com algumas cidades da zona 01.

A generalização em apenas duas zonas para um país tão diversificado climaticamente como o Brasil, torna a aplicação questionável. Outra relevante contestação da norma, levantada por Venâncio (2007) é de que a mesma não recomenda diretrizes para a fase inicial do projeto conforme demonstrado no Quadro 1.

ESBOÇO	PROJETO	DETALHAMENTO
Geometria (orientação e implantação)	Sistemas construtivos opacos	Isolamento (térmico e/ou acústico)
	Sistemas construtivos transparentes	Projetos complementares
Proposta de arranjo espacial	Tamanho das aberturas	Escolha de cores externas
	Proteções solares	Especificações detalhadas

Quadro 1 - Decisões projetuais em cada etapa de projeto e em azul escuro as únicas respaldadas pela ASHRAE. Fonte: Venâncio (2007).

### 2.4.2 ABNT - NBR 15.220

Em 2005, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) publicou a Norma Brasileira de Desempenho Térmico de Edificações, a NBR 15.220 que, dividida em cinco partes, apresenta o seguinte conteúdo (ABNT, 2005c):

**Parte 1:** Definições, símbolos e unidades;

**Parte 2:** Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações;

**Parte 3:** Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;

**Parte 4:** Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida; e

**Parte 5:** Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico.

A idéia dessa publicação foi lançada em 1990, durante o I Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, ocorrido em Gramado (RS). Tal debate conduziu a criação de um projeto internacional de desenvolvimento e compatibilização de normas visando ao uso racional de energia e ao conforto térmico em edificações envolvendo não só o Brasil, mas também a Argentina e o Uruguai (LAMBERTS, 1991 *apud* ROMAN; BONIN, 2003).

A parte 3 da norma, que trata do zoneamento bioclimático<sup>1</sup> e das diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social, é um relevante documento para esta pesquisa. Como metodologia para essa divisão, “o território brasileiro foi dividido em 6500 células, cada uma das quais foi caracterizada pela posição geográfica e pelas seguintes variáveis climáticas: médias mensais das temperaturas máximas; médias mensais das temperaturas mínimas; e médias mensais das umidades relativas do ar” (ABNT, 2005a). Esse levantamento estabeleceu 8 (oito) zonas bioclimáticas em todo o território (Figura 2), a zona 8, da qual Vitória (ES) faz parte, ocupa 53,7% do território nacional, e nela enquadram-se

---

<sup>1</sup> Zona bioclimática é, segundo a NBR 15.220-1 (ABNT, 2005a), uma região geográfica homogênea quanto aos elementos climáticos que interferem nas relações entre ambiente construído e conforto humano.

idades como Belém e Natal, ainda que existam relevantes diferenças geográficas e ambientais entre as mesmas.

Também é apresentada na norma, a reconhecida carta bioclimática de Givoni (GIVONI *apud* LAMBERTS, 2007a), que trabalha com as variáveis de temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar, e sobre a qual foi traçado o limite da zona de conforto ressaltando que essa aparece com algumas adaptações, detalhando ainda mais a versão inicial. As cartas são produzidas para cada zona (Figura 3) e com ela são apresentadas algumas recomendações gerais referentes à realidade climática a que se insere. Para a zona 8 (clima quente-úmido) as indicações são: desumidificação, massa térmica de refrigeração, ventilação e refrigeração artificial.

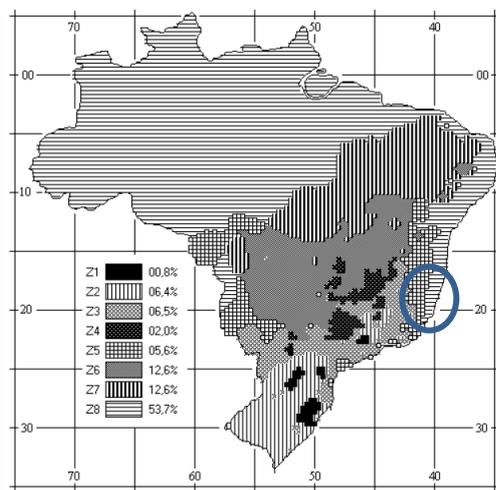


Figura 2 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro definido pela NBR 15.220, sendo em destaque a região que se localiza a cidade de Vitória.  
 Fonte: ABNT (2005c).

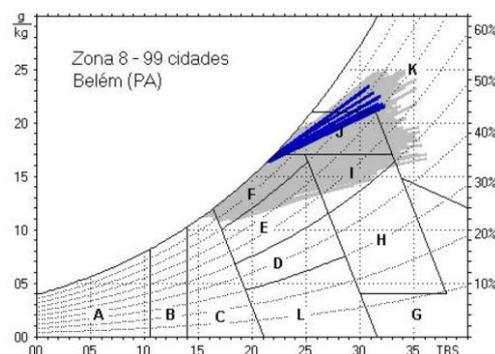


Figura 3 - Carta bioclimática para a Zona Bioclimática 8 da NBR 15.220, a cidade selecionada para o exemplo é Belém, no estado do Pará. Fonte: ABNT (2005c).

Cada letra impressa na carta determina a recomendação adequada para aquela zona térmica, conforme Quadro 2.

ESTRATÉGIAS DETALHADAS	
A	O uso de aquecimento artificial será necessário para amenizar a eventual sensação de desconforto térmico por frio.
B	A forma, a orientação e a implantação da edificação, além da correta orientação de superfícies envidraçadas, podem contribuir para otimizar o seu aquecimento no período frio através da incidência de radiação solar. A cor externa dos componentes também desempenha papel importante no aquecimento dos ambientes através do aproveitamento da radiação solar.
C	A adoção de paredes internas pesadas pode contribuir para manter o interior da edificação aquecido.
D	Caracteriza a zona de conforto térmico (a baixas umidades).
E	Caracteriza a zona de conforto térmico.
F	As sensações térmicas são melhoradas através da desumidificação dos ambientes. Esta estratégia pode ser obtida através da renovação do ar interno por ar externo através da ventilação dos ambientes.
G e H	Em regiões quentes e secas, a sensação térmica no período de verão pode ser amenizada através da evaporação da água. O resfriamento evaporativo pode ser obtido através do uso de vegetação, fontes de água ou outros recursos que permitam a evaporação da água diretamente no ambiente que se deseja resfriar.
H e I	Temperaturas internas mais agradáveis também podem ser obtidas através do uso de paredes (externas e internas) e coberturas com maior massa térmica, de forma que o calor armazenado em seu interior durante o dia seja devolvido ao exterior durante a noite, quando as temperaturas externas diminuem.
I e J	A ventilação cruzada é obtida através da circulação de ar pelos ambientes da edificação. Também deve-se atentar para os ventos predominantes na região e para o entorno, pois o entorno pode alterar significativamente a direção dos ventos.
K	O uso de resfriamento artificial será necessário para amenizar a eventual sensação de desconforto térmico por calor.
L	Nas situações em que a umidade relativa do ar for muito baixa e a temperatura do ar estiver entre 21°C e 30°C, a umidificação do ar proporcionará sensações térmicas mais agradáveis. Essa estratégia pode ser obtida através da utilização de recipientes com água e do controle de ventilação, pois esta é indesejável por eliminar o vapor proveniente de plantas e atividades domésticas.

Quadro 2 - Estratégias passivas sugeridas de acordo com a Carta bioclimática de Givoni. Fonte: ABNT (2005c).

Já no que se refere a propriedade da envoltória, a norma determina paredes e cobertas leves e refletoras (Tabela 1), sendo que para aberturas a indicação é de grandes vãos com sombreamentos. Quanto às estratégias de condicionamento passivo, a norma propõe, para o verão, a ventilação cruzada permanente, ainda que alerte quanto à insuficiência desse condicionamento passivo durante as horas dos dias mais quentes. Especificamente para a cidade de Vitória, a norma determina as estratégias F, I e J do Quadro 2.

Tabela 1 - Transmitâncias determinadas pela NBR 15.220

SUPERFÍCIE	TRANSMITÂNCIA <sup>2</sup>	ATRASSO TÉRMICO <sup>3</sup>	FATOR SOLAR <sup>4</sup>
Paredes leves	$\leq 3,00 \text{ W/m}^2.\text{K}$	$\Phi \leq 4,3$ (horas)	$FS_0 \leq 5,0$
Cobertas leves	$\leq 2,00 \text{ W/m}^2.\text{K}$	$\Phi \leq 3,3$ (horas)	$FS_0 \leq 6,5$

Fonte: ABNT (2005c).

### 2.4.3 PROCEL EDIFICA – Regulamento Técnico de Qualidade do Nível de Eficiência energética em Edificações (RTQ-C)

Em 2003, estimulados pela alta demanda de energia em edificações, criou-se um subprograma do PROCEL chamado Procel Edifica (ELETROBRÁS, 2009). Este programa tem por objetivo promover o uso racional da energia elétrica em edificações e de incentivar a conservação e o uso eficiente dos recursos naturais (água, luz, ventilação e etc.), reduzindo os desperdícios e os impactos sobre o meio ambiente.

Como instrumento de incentivo a projetos mais eficientes, o programa criou a ENCE – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (Figura 4) visando, dentre outros objetivos, disseminar os conceitos e práticas de Eficiência Energética em Edificações (EEE) e Conforto Ambiental (CA) entre os profissionais de arquitetura e engenharia, e aqueles envolvidos com o planejamento urbano. O programa também lançou mão de outras estratégias como, por exemplo, apoiar a implantação da Regulamentação da Lei de Eficiência Energética (Lei

<sup>2</sup> **Transmitância** é o “quociente da taxa de radiação solar que atravessa um elemento pela taxa de radiação solar incidente sobre este mesmo elemento” (ABNT, 2005a).

<sup>3</sup> **Atrasso térmico** é o “tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo submetido a um regime periódico de transmissão de calor” (ABNT, 2005a).

<sup>4</sup> **Fator Solar** é o “quociente da taxa de radiação solar transmitida através de um componente opaco pela taxa da radiação solar total incidente sobre a superfície externa do mesmo” (ABNT, 2005a).

10.295/2001) no que tange às Edificações Brasileiras, além de orientar tecnicamente os agentes envolvidos e técnicos de Prefeituras, para adequar seus Códigos de Obras e Planos Diretores (ELETROBRÁS, 2009).



Figura 4- Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – ENCE  
 Fonte: MME (2009c).

A etiquetagem de edifícios ainda é voluntária e pode ser feita através de uma metodologia criada para a classificação do nível de eficiência energética, denominada RTQ-C. A versão oficial - publicada em 2009 e revisada em 2010 - é exclusiva para edifícios comerciais (MME, 2012). O objetivo dessa regulamentação é criar condições para a aplicação da Etiquetagem do nível de eficiência energética de edifícios, numa primeira instância, de uso comercial e públicos. Tal regulamento se aplica para edifícios com área total útil mínima de 500m<sup>2</sup> ou com tensão de abastecimento superior ou igual a 2,3kV, incluindo edifícios condicionados parcialmente, condicionados e naturalmente ventilados (MME, 2009a; MME, 2009c).

O processo de etiquetagem é formado por duas etapas de avaliação: etapa de projeto e etapa de inspeção do edifício construído, a partir das quais se obtém a autorização para uso da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), expedida pelo Inmetro. De acordo com Lamberts *et al.* (2007b) a regulamentação é dividida em três requisitos: eficiência e potência instalada do sistema de iluminação; eficiência do sistema de condicionamento do ar; e o desempenho térmico da envoltória do edifício. Todos os requisitos têm níveis de

eficiência que variam de A (mais eficiente) a E (menos eficiente). Para cada requisito avaliado, é necessário cumprir uma série de pré-requisitos que, sem os quais, o edifício não pode ser etiquetado, embora o RTQ-C permita a etiquetagem parcial dos sistemas de iluminação e ar condicionado para pavimentos ou salas isoladamente.

A classificação geral do edifício é obtida por meio da avaliação dos três requisitos citados. Para tal, pesos são atribuídos para cada requisito e, de acordo com a pontuação final, é obtida uma classificação geral que também varia de A (mais eficiente) a E (menos eficiente). Os pesos, então, são distribuídos da seguinte forma:

- a) Sistema de Iluminação (DPI) = 30%
- b) Sistema de Condicionamento de Ar (CA) = 40%
- c) Envoltória (Env)= 30%

De acordo com os critérios estabelecidos na Etiquetagem, a classificação geral do edifício é calculada com base na distribuição dos pesos através de uma equação cujo resultado estabelece valores de 0 a 5, correspondendo à classificação de A a E, conforme estabelecido pelo RTQ-C. O desempenho dos sistemas pode ser calculado de duas formas: pelo método prescritivo e pelo método de simulação. O prescritivo consiste na aplicação de equações, tabelas e atendimento a parâmetros limites, resultando em pontuação que indica o nível de eficiência parcial dos sistemas e total do edifício.

Por outro lado, o método de simulação avalia o desempenho do edifício comparado ao comportamento de edifícios referenciais de acordo com o nível de eficiência através de *softwares* de simulação termo-energética, obtendo-se, como dado de saída o consumo energético. A análise é simples, ou seja, o edifício proposto alcança o nível de eficiência pretendido se tiver o consumo igual ou menor do que o edifício de referência. Para a validação desse método, o regulamento estabelece tanto as características que devem ser comuns aos dois modelos quanto os parâmetros obrigatórios para os edifícios de referência, a exemplo do tipo de vidro das aberturas e da inexistência de dispositivos de sombreamento nas mesmas (CARLO; LAMERTS, 2010).

As duas metodologias permitem a determinação do nível de eficiência de cada sistema separadamente, de tal forma a possibilitar que a etiquetagem seja feita para iluminação, ar condicionado e/ou envoltória. Contudo, para a obtenção das etiquetas parciais do sistema de iluminação e/ou de ar condicionado é obrigatório que exista ou que se solicite a ENCE parcial da envoltória. Esta, no entanto, é a única que pode ser obtida individualmente – sem estar atrelada as demais – mas, por outro lado, também não pode ser realizada para um ambiente, ou seja, “o cálculo da envoltória exige a existência de uma cobertura, e de fachadas que contêm características que podem influir no ambiente ao lado” (MME, 2009b).

A submissão apresentada entre as etiquetas sugere o que Pedrini e Hyde (2001) já haviam constatado: um edifício só pode alcançar o seu desempenho máximo se possuir uma envoltória eficiente. E, para que o arquiteto proponha uma edificação dentro dos padrões desejados é preciso conhecer as particularidades e possibilidades do envelope da edificação, bem como as características que as influenciam.

## **2.5 CARACTERIZAÇÃO DA ENVOLTÓRIA**

Para a compreensão do objeto de estudo dessa pesquisa, torna-se necessária a definição de alguns elementos, sendo inicialmente considerado como importante reforçar que o estudo tem o foco na envoltória de “edifícios de escritórios”. Para tanto, define-se essa tipologia como um tipo particular de edificação comercial ou pública, caracterizada por múltiplos pavimentos e composta por módulos constituídos, em grande parte, por salas principais, sanitário(s) e sala de recepção/espera, normalmente ocupados por profissionais liberais ou representantes comerciais e que, segundo Lamberts, Ghisi e Ramos (2006, p.4) “apresentam uma tipologia muito uniforme nas diversas regiões do Brasil, qualquer que seja o clima”.

A envoltória desses edifícios pode ser conceituada como a membrana que envolve a edificação atuando como um elemento de separação entre uma realidade climática exterior e uma realidade climática interior (PIRRÓ, 2005). É por essa membrana, que pode ser horizontal (cobertura) ou vertical (paredes externas), que acontecem as trocas térmicas. Seguindo o conceito definido pelo RTQ-C (MME, 2009c, p. 36),

A envoltória pode ser entendida como a pele do edifício. Isto é, o conjunto de elementos do edifício que estão em contato com o meio exterior e compõem os fechamentos dos ambientes internos em relação ao ambiente externo. Meio externo, para a definição de envoltória, exclui a parcela construída do subsolo do edifício, referindo exclusivamente as paredes construídas acima do solo.

Para o estudo da envoltória, é preciso conceituar alguns elementos, aqui considerados variáveis do estudo, que compõe o envelope ou mesmo o arranjo espacial (Figura 5). Algumas dessas variáveis apresentadas serão de controle, ou seja, serão determinadas, porém não modificadas durante as simulações; outras são alteradas para que se identifique quão influentes são para a redução do consumo energético.

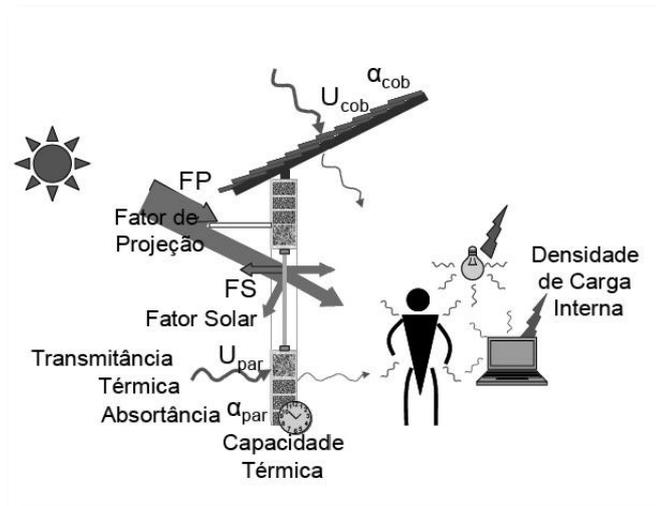


Figura 5 - Variáveis intervenientes no desempenho térmico de edificações  
 Fonte: adaptado de Lamberts *et al.*, (2007a).

O meio mais eficaz de se controlar a quantidade de calor que chega até o interior de uma edificação é considerar atentamente o modo como o envelope construtivo tanto absorve quanto reflete a radiação solar. Essas trocas podem ser realizadas através das superfícies opacas ou translúcidas, e de acordo com Brown e Dekay (2004), se por um lado o ganho térmico solar das superfícies opacas pode ser grande, ele é geralmente pequeno se comparado ao ganho pelas superfícies translúcidas como o vidro, podendo chegar a 85% da radiação incidente. A observância desses fatores reforça que o planejamento desses fechamentos externos deve ser delineado com cuidado, de modo a minimizar os ganhos térmicos e maximizar a entrada de iluminação natural. O parâmetro utilizado para quantificar essa proporção é definido como o percentual de abertura na fachada.

### 2.5.1 Percentual de abertura na fachada (PAF)

Originalmente chamado de *WWR* (*Window Wall Ratio*), o PAF é uma variável baseada na área de janela / área de fachada (Figura 6). Essa proporção deve ser cuidadosamente dimensionada, uma vez que, se por um lado grandes vãos de abertura tendem a maximizar a entrada de luz no espaço interno, por outro a incidência excessiva tende a elevar os ganhos de calor. As janelas, portanto, tem influência direta sobre os sistemas de iluminação e ar condicionado (MARINOSKI *et al.*, 2007).

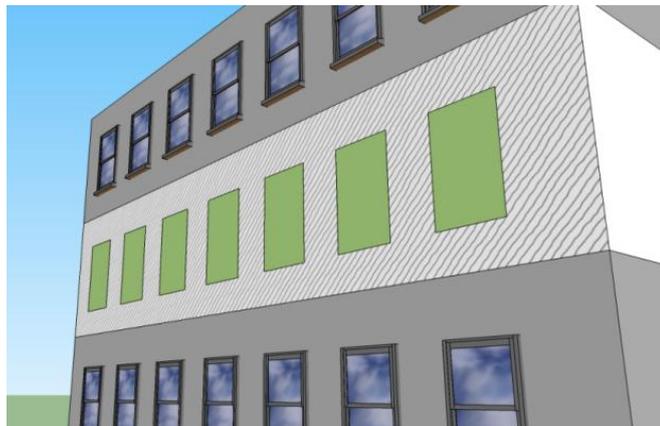


Figura 6 – Ilustração da proporção entre área de janela (em verde), e a área da fachada (superfície hachurada somada à verde).

Alguns autores (FOSSATI e LAMBERTS, 2010) corroboram que o percentual de abertura na fachada é a medida de conservação de energia de maior relevância. Quanto maior o percentual de abertura, menor tende a ser o nível de eficiência da envoltória quando nenhuma outra medida construtiva é utilizada para amenizar tal efeito. Entretanto, não só a proporção de abertura, o tipo de material utilizado nos fechamentos também tem significativo impacto sobre o consumo energético em edifícios. Alguns componentes translúcidos têm a capacidade de “filtrar” a quantidade de radiação que incide sobre os mesmos reduzindo a carga térmica interna, sendo que essa propriedade é identificada como fator solar.

### 2.5.2 Fator Solar (FS)

O Fator Solar (FS) expressa a quantidade de radiação solar que passa pelo componente translúcido e que, segundo a NBR 15.220-2 (ABNT, 2005b, p. 3),

é o quociente da taxa de radiação solar diretamente transmitida através de um componente transparente ou translúcido, sob determinado ângulo de incidência, mais a parcela absorvida e posteriormente retransmitida para o interior, pela taxa de radiação solar total incidente sobre a superfície externa do mesmo.

Signor (1999) ressalta que os vidros têm uma característica que é de suma importância no mecanismo de trocas de calor do prédio, pois eles são elementos transparentes a radiações de onda curta<sup>5</sup> e opacos a radiações de ondas longas. São exemplos de radiação de onda curta a luz e o calor emitido pelo sol, por isso enxerga-se através dos vidros. Já o calor emitido pelos humanos e pelos elementos que existem dentro da edificação possui onda longa, e em função disso não conseguem passar através dos vidros sendo refletidos de volta para o ambiente. A consequência desse fenômeno é a formação do denominado “efeito estufa”, indesejado para climas quentes como o da cidade de Vitória.

O anseio por atenuar esses ganhos de carga térmica pelas aberturas e ainda assim cumprir com as necessidades de iluminação natural estimulou o desenvolvimento de uma vasta cartela de tipos e mecanismos de vidros, tais como os refletivos, disponível em diversas cores e até em camadas duplas, triplas ou quádruplas. Essa variedade permite maior liberdade de projeto, no entanto, a escolha do material nem sempre leva em consideração as características óticas e o comportamento térmico dos mesmos e, normalmente, é influenciada pela estética que o projetista pretende impor ao edifício (CASTRO *et al.*, 2003) ou a condicionantes econômicos.

Para a seleção do vidro é necessária a compreensão de alguns fatores que, agrupados indicam o desempenho térmico do componente. Grande parte da radiação solar que incide diretamente sobre o vidro é transmitida para o ambiente interno, outra é refletida para o exterior e o restante é absorvido. Uma parcela dessa radiação absorvida é re-irradiada tanto para o exterior quanto para o interior (Figura 7).

---

<sup>5</sup> Radiação de onda curta é aquela cujo comprimento de onda é inferior a 3000nm (LAMBERTS, 2007).  
A influência da envoltória no Consumo Energético em Edifícios Artificialmente Climatizados na Cidade de Vitória ES

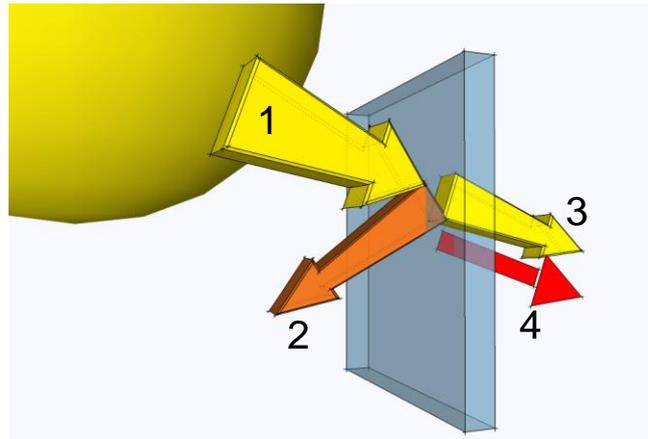


Figura 7 – Incidência solar em superfícies translúcidas. (1) incidência solar, (2) parcela refletida, (3) parcela transmitida para o interior, (4) parcela absorvida e re-irradiada.  
 Fonte: elaborado a partir de Lamberts (2007a).

Esse comportamento é influenciado pelo comprimento de onda incidente, espessura, cor, índice de refração dos vidros e o ângulo incidente da radiação (SCHOLZE, 1980 *apud* CASTRO *et al.*, 2010). Isso significa que, antes mesmo da escolha do vidro, é preciso analisar como os raios incidirão em sua superfície, sendo que um dos fatores de maior influência é a orientação das diferentes fachadas de um edifício.

### 2.5.3 Orientação das fachadas

Alguns estudos como o de Bulla (1999, *apud* SANTANA, 2006) sugerem que os valores limites para as propriedades das janelas (percentual de abertura, característica dos vidros, etc.) estejam correlacionadas entre si com a orientação do edifício. Rivero (1986, *apud*, KLÜSENER, 2009) afirma que, em qualquer época do ano, a orientação influenciará diretamente a quantidade de calor imposto ao edifício.

Para compreender a relação entre radiação solar e a orientação do edifício é preciso, inicialmente, analisar o comportamento da trajetória do sol em relação à região onde será implantada a edificação. Edificações localizadas no Hemisfério Sul recebem, durante a maior parte do ano e do dia, um considerável montante de radiação na fachada Norte, seguidas da Leste e Oeste, e um número bem menor na Sul. Corbella e Yannas (2003) reforçam a necessidade de o projetista compreender a distribuição espacial e temporal da radiação

solar incidente, e para isso, apresentam uma tabela (Tabela 2) que exemplifica esse ganho para fachadas orientadas para os quatro pontos cardeais em estudo feito no Rio de Janeiro.

Tabela 2– Parcela de ganho de carga térmica em cada fachada.

FACHADA	INVERNO	VERÃO
Norte	3,8	2,0
Leste-Oeste	2,4	3,4
Sul	1,0	2,4

Fonte: Corbella e Yannas (2003).

Em edifícios de escritórios com planta retangular – muito comum nos projetos desenvolvidos para esse uso –, as maiores fachadas apresentam um ponto crítico para o desempenho térmico do edifício, uma vez que grande parte das aberturas da edificação provavelmente estará nelas localizadas, sendo essas as áreas de maior troca de calor. Ainda que essas aberturas sejam projetadas em superfícies cuja orientação receba menor incidência solar, o ganho por carga térmica advindo da radiação direta ainda é grande, podendo ser atenuado, por exemplo, com a instalação de dispositivos de proteção solar.

#### 2.5.4 Proteção solar (PS)

Protetores Solares ou elementos sombreadores são dispositivos que, instalados junto às aberturas, protegem as mesmas da insolação solar direta, podendo ser internos ou externos. Os dispositivos internos, tais como persianas e cortinas, são menos indicados uma vez que, apesar de bloquearem a chegada dos raios no plano de trabalho dos usuários, não impedem que os mesmos raios alcancem os vidros. Já os dispositivos externos (Figura 8) bloqueiam a entrada de carga térmica no interior do ambiente, e tendem a ser mais eficientes quando são projetados com cores claras, pois refletirão boa parte da radiação incidente, e afastados da superfície da fachada, transmitindo menos calor à mesma por condução (BITTENCOURT, 2004).



Figura 8 – Exemplo de aberturas com e sem proteção solar externa.

Esses dispositivos podem ser horizontais, verticais ou mistos e são projetados sob a forma de varandas, marquises, *brises-soleil*, telas especiais, elementos vazados, pérgulas, dentre outros. Os *brises-soleil*, propostos para esta pesquisa, tratam-se de composições de placas devidamente dimensionadas conforme a latitude e orientação da fachada.

Segundo Bittencourt (2004), os dispositivos verticais são mais eficientes quando a incidência solar é oblíqua em relação à fachada, ou seja, em locais de baixa latitude, esse protetor é pouco eficiente para as fachadas Leste e Oeste. Já os dispositivos horizontais, são mais indicados para grandes alturas solares e, quando são utilizados para bloquear raios baixos acaba impedindo a visibilidade para o exterior, e reduz a luminosidade e ventilação que atravessariam a abertura. Quando corretamente combinados, esses dois dispositivos têm um desempenho muito eficiente, pois atuam de forma complementar.

É importante salientar que, quando bem manuseado pelo usuário, o *brise* móvel é uma opção interessante para maximizar a eficiência do protetor. No entanto, Souza e Alvarez (2009) constataam em sua pesquisa, elaborada no Tribunal de Contas da União do Estado Espírito Santo (TCU-ES), que o sistema articulado de proteção solar, apesar de bem projetado, não é adequadamente operado pelos usuários, tornando-se ineficiente para o conforto térmico do edifício. Isso reforça o fato de que um projeto arquitetônico bem planejado do ponto de vista da eficiência energética não é suficiente se a relação do usuário com o consumo da energia, ou mesmo com a própria arquitetura, não for apropriado (FARDIN *et al.*, 2010). Como forma de minimizar a intervenção inadequada dos usuários, tem-se a possibilidade do uso de *brises-soleil* automatizados, cujo sistema regula o ângulo de

sombreamento em função da trajetória solar. No entanto, tal solução também pode ocasionar problemas, especialmente em dias com grande variação entre nublado e ensolarado, fazendo com que os *brises* fiquem em constante movimentação, podendo causar incômodo aos usuários.

Independentemente do tipo de proteção escolhida, o planejamento de um adequado protetor solar tem como premissa, proporcionar o sombreamento nos horários estabelecidos - geralmente de uso intensivo do ambiente – e, ainda, permitir a maior visibilidade e luminosidade no interior. É importante salientar que essa é uma das estratégias para garantir o conforto ambiental dos usuários, entretanto, nem só as aberturas são responsáveis pelo ganho de carga pela incidência solar. As superfícies opacas também atuam na troca térmica, transmitindo, absorvendo e refletindo a radiação solar.

### 2.5.5 Absortância térmica ( $\alpha$ )

A absortância térmica é uma propriedade adimensional, cujo conceito é determinado pela NBR 15.220-1 (ABNT, 2005a, p. 3) como o “quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície”. Essa é uma propriedade do material referente à parcela de radiação retida pelo mesmo, geralmente relacionada com a cor (Tabela 3), ou seja, quanto mais escura essa for, mais carga térmica irá absorver.

Tabela 3– Tabela de absortâncias

COR DA PINTURA	$\alpha$
Branca	0,20
Amarela	0,30
Verde Clara	0,40
“Alumínio”	0,40
Verde Escura	0,70
Vermelha	0,74
Preta	0,97

Fonte: adaptado de ABNT(2005a).

Estudos elaborados por Givoni (1981, *apud* DORNELLES, 2008) demonstraram que as temperaturas superficiais externas de paredes de alta absortância foram muito superiores à

temperatura do ar no exterior da edificação, sendo que essa diferença chegou a até 23°C, enquanto que as paredes com baixa absorvância (pintadas de branco) a diferença foi inferior a 3°C, indicando o efeito da radiação solar incidente.

No entanto, alguns autores destacam que a absorvância não depende apenas da cor da superfície. Um conjunto de outras características físicas também tem uma influência direta, entre elas a composição química de seu material, caracterizada por sua absorvância; a rugosidade do material (definida por suas micro-irregularidades geométricas); e a ondulação da superfície, conforme Brown e Dekay (2004); Roriz, Dornellas e Roriz (2007). Alguns desses parâmetros, principalmente o de composição do material, influenciarão não só na parcela de radiação que será absorvida e refletida, mas também na quantidade de carga térmica que será transmitida para o interior do edifício.

#### **2.5.6 Transmitância térmica (U)**

A transmitância térmica, cuja unidade é dada por  $W/(m^2K)$ , é classificada como a transmissão de calor em unidade de tempo e através de uma área unitária de um elemento ou componente construtivo opaco (paredes externas e coberturas) induzida pela diferença de temperatura entre dois ambientes (MME, 2009c). Já a NBR 15.220-2 (ABNT, 2005c, p. 3) traz a seguinte conceituação para transmitância à radiação solar: “Quociente da taxa de radiação solar que atravessa um elemento pela taxa de radiação solar incidente sobre esse mesmo elemento”.

Alguns autores como Signor (1999), Carlo (2008), Mello e Lamberts (2008) reforçam que o comportamento dessa característica é peculiar frente às trocas térmicas entre o exterior e o interior do edifício. Se por um lado uma vedação externa de transmitância baixa tende a repassar menos carga térmica para o interior, por outro, esse isolamento tende a dificultar a dissipação dos ganhos internos para o exterior, contribuindo para elevar a temperatura dentro do ambiente, sobretudo em edificações comerciais pela grande carga térmica interna advinda de iluminação, equipamentos e ocupação. Melo (2007) confirma a importância da densidade de carga interna instalada dentro do ambiente para o comportamento da transmitância. Em sua pesquisa, a autora verificou que dentre os modelos simulados, os que

tiveram o maior percentual de redução do consumo energético com o aumento da transmitância apresentavam uma composição com elevada carga interna.

Outra consideração importante em relação à composição do envelope do edifício refere-se à diferença entre o posicionamento de suas vedações, visto que os fechamentos horizontais não recebem a mesma carga térmica que os verticais. Por esse motivo, o RTQ-C (MME, 2009c) determina limites diferentes para a transmitância da cobertura e da fachada, sendo que os valores máximos estabelecidos para os elementos verticais são maiores, visto a menor radiação recebida. Devido a essa diferença, há de se destacar a relevância da proporção desses fechamentos.

### 2.5.7 Fator Altura

O RTQ-C (MME, 2009c) define a razão entre a área de projeção do edifício e a área de piso total do mesmo como Fator Altura (Figura 9). Quanto menor for a altura do edifício, maior será a influência dos ganhos térmicos pela cobertura, ao passo que em edificações com múltiplos pavimentos, a fachada se torna a grande responsável por esses ganhos.

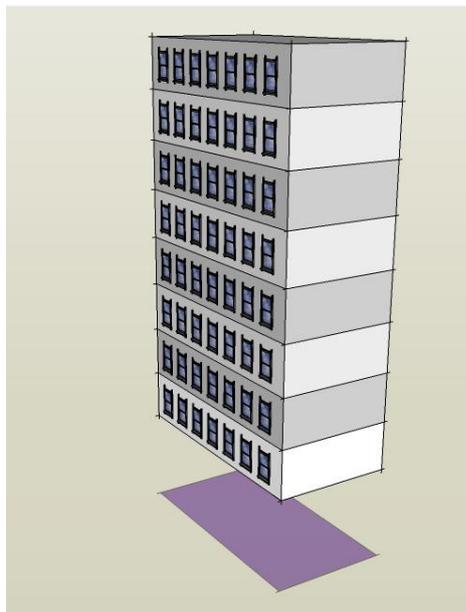


Figura 9– Fator Altura do edifício. Área de projeção em lilás e altura representada pelos 8 pavimentos.

Motivados por essa influência, Castanheira e Corbella (2009) analisaram o comportamento da incidência solar em 3 (três) modelos de edifícios prismáticos de mesmo volume – identificados como ideal, baixo e esbelto –, com o objetivo de encontrar aquele cuja

proporção capte a menor quantidade de energia solar. Os resultados comprovam que o edifício mais baixo foi o maior receptor de carga térmica pela superfície e o “ideal” representou o menor ganho. O desempenho constatado dos edifícios está, portanto, diretamente relacionado à quantidade de superfície horizontal (cobertura) e vertical (fachadas) e recebe influência direta da trajetória solar.

Segundo Bittencourt (2004), a atmosfera atua como um filtro solar, ou seja, as radiações emitidas pelo sol cruzam uma camada gasosa, e esta permite que apenas parte dos raios atinja a superfície. Por esse motivo, quanto maior for a espessura do filtro, maior será a redução do fluxo energético. Além disso, a forma como os raios incidem também influencia diretamente na intensidade da carga térmica nas superfícies.

A soma desses fenômenos explica a diferença de intensidade da energia recebida do sol matinal e o de meio-dia (Figura 10). As 7h da manhã o fluxo energético atravessa uma espessura maior de atmosfera e incide perpendicularmente na fachada e de forma inclinada na cobertura. Já às 12h, além de grande parte dos raios solares alcançarem a superfície, considerando que a espessura do “filtro” é bem menor, eles atingem a cobertura de forma perpendicular, ou seja, esse é o caso que contempla o maior fluxo e a mais alta concentração energética por área.

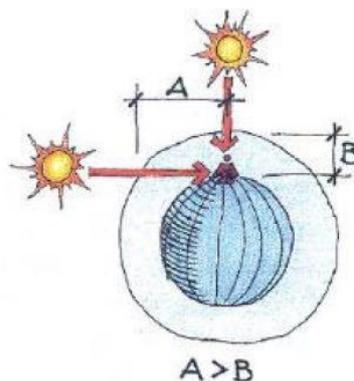


Figura 10 - Incidência da radiação solar.  
Fonte: Dutra (1994, p. 17).

Reconhecendo os efeitos que a trajetória solar tem sobre os ângulos de incidência dos raios solares, há de se destacar a influência que a localização de uma região tem sobre o seu desempenho térmico. Cada latitude, por exemplo, recebe uma quantidade de radiação

distinta, que pode ainda variar em função da época do ano. Frota e Schiffer (2003), destacam, dentre as variáveis climáticas que caracterizam uma região, que as que têm maior influência sobre o desempenho térmico das edificações são, além da quantidade de fluxo energético advindo do sol, a oscilação diária e anual da temperatura e umidade relativa; o grau de nebulosidade do céu; a predominância de época e sentido dos ventos; e os índices pluviométricos.

## 2.6 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA E GEOGRÁFICA DE VITÓRIA

A caracterização das variáveis de uma determinada localidade é condicionante primordial para a proposição de uma arquitetura de bom desempenho. Para esta pesquisa, foi selecionada a cidade de Vitória, capital do Espírito Santo, cuja escolha foi direcionada pelas seguintes diretrizes:

- Trata-se da região em que a instituição de pesquisa se localiza;
- Está situada na Zona Bioclimática 8, sendo esta a de maior extensão, representando 58% do território brasileiro e de provável potencial de generalização, sendo então pertinente que se realizem pesquisas mais específicas e ajustadas às suas características climáticas; e
- O recorte do objeto de estudo foi estabelecido paralelamente à pesquisa “Proposta de ferramenta para avaliação do índice de sustentabilidade voltado para as edificações do Estado do Espírito Santo”, desenvolvida pelo Laboratório de Planejamento e Projetos da UFES (LPP-UFES), cujo resultado culminou em uma Ferramenta de Avaliação de Sustentabilidade denominada ASUS, com foco na realidade da região metropolitana da Grande Vitória (LPP, 2011).

Vitória está localizada no litoral da região Sudeste (Figura 11), no Estado do Espírito Santo, com coordenadas 20° 16' (20,26 UTM) de latitude e 40° 17' (40,28 UTM) de longitude. Faz fronteira leste com o Oceano Atlântico, norte com o Município da Serra, oeste com o Município de Cariacica e sul com o Município de Vila Velha separados pela Baía de Vitória. Possui clima quente-úmido, com baixa amplitude térmica e altos índices de umidade relativa do ar. Como a análise de desempenho térmico deste estudo será feita em *software* de

simulação, torna-se necessária a caracterização climática detalhada, visando a correta inserção dos dados.

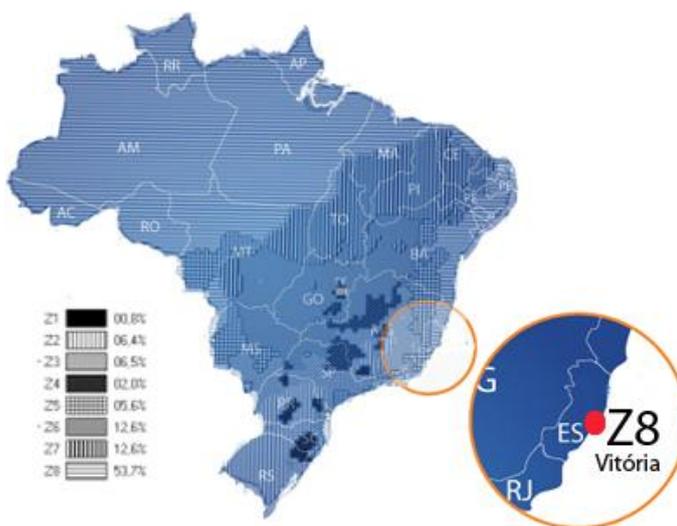
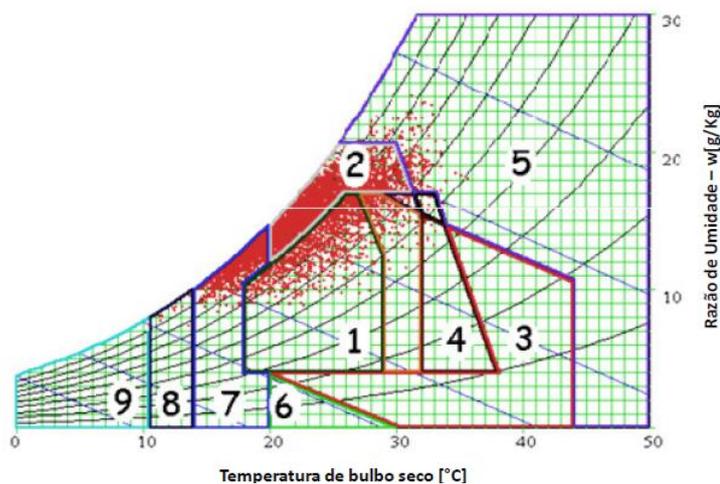


Figura 11 - Localização da Cidade de Vitória no Brasil  
 Fonte: elaborado a partir de ETES (2011) e ABNT (2005a).

Para isso, o *National Climatic Center* desenvolveu uma fonte com dados referentes ao ano climático chamado *Test Reference Year (TRY)* ou Ano Climático de Referência. O arquivo carrega cerca de 30 elementos, destacando-se dentre eles, as temperaturas de bulbo seco, as temperaturas de bulbo úmido, a direção dos ventos e a radiação solar. Esses dados podem ser plotados em uma Carta Bioclimática, obtendo-se assim, as estratégias de projeto mais adequadas para a edificação ao clima local.

Um levantamento realizado por Goulart (1998) sintetiza os dados climáticos de 14 cidades brasileiras, e dentre elas, está Vitória, cujas informações datam do período de 1961 a 1970. A autora reforça que as temperaturas de projeto e os dados de vento foram obtidos de acordo com a metodologia da ASHRAE. Goulart (1998) faz esse procedimento através do *software Analisys* e identifica a realidade de Vitória (Figura 12).



1-Zona de Conforto; 2-Ventilação; 3-Resfriamento Evaporativo; 4-Massa Térmica para Resfriamento; 5-Ar Condicionado; 6-Umidificação; 7-Massa térmica e Aquecimento Solar Passivo; 8-Aquecimento Solar Passivo; 9-Aquecimento Artificial.

Figura 12 - Carta bioclimática com o TRY de Vitória.  
 Fonte: Goulart (1998, p. 325).

Com o reconhecimento das estratégias, é possível diagnosticar a porcentagem de horas no ano que ocorre conforto ou desconforto térmico (Tabela 4), além dos percentuais das horas do ano em que cada estratégia é apropriada (GOULART, 1998).

Tabela 4 - Estratégias bioclimáticas sugeridas em porcentagens

ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS EM PORCENTAGEM (%)				
Conforto			17,8	
Desconforto	Calor	Ventilação	61,0	
		Resfriamento Evaporativo	3,8	
		Massa térmica para Resfriamento	4,3	
		Ar Condicionado	2,7	
	Frio	Massa Térmica para Aquecimento. Aquecimento Solar		17,8
		Aquecimento Solar		0,1
		Aquecimento Artificial		0

Fonte: ABNT (2005c).

É válido ressaltar que os dados fornecidos nesta pesquisa não são os mais atuais, visto a data de referência do levantamento. Dados climáticos mais recentes que os fornecidos por Goulart (1998) são relatados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), e datam do

período de 1961 a 1990 (INMET, 2009). Esses serão usados para a caracterização climática de Vitória, mas não serão aproveitados como dados de entrada no *software* em função da já explicitada formatação das informações. Para as simulações, será usado o TRY disponibilizado no site do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE) pois, além de ser produzido com a formatação necessária para a entrada de dados no *software* de simulação, teve a atualização feita em 2005.

O INMET (2009) fornece gráficos do cenário climático de Vitória e dentre os dados disponibilizados, foram selecionadas as Normais Climatológicas de insolação, precipitação, umidade, temperaturas máximas, mínimas e médias. Com relação à insolação, encontram-se valores máximos no mês de fevereiro e mínimos para outubro como mostra o Gráfico 5.

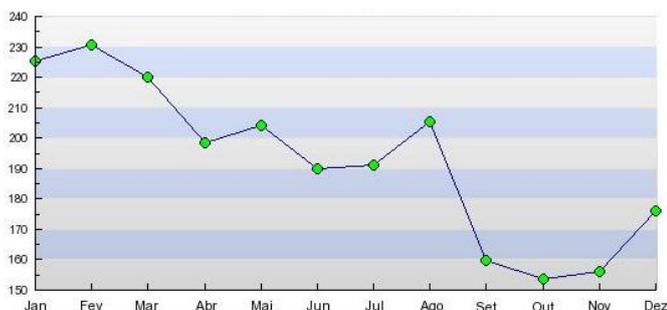


Gráfico 5 - Normais Climatológicas de insolação do período entre 1961 a 1990 da cidade de Vitória. Fonte: INMET (2009).

O Instituto publica dados de precipitação segundo o Gráfico 6, sendo que os maiores valores são no verão, com máxima para o mês de dezembro, já os menores se encontram no período de inverno, com mínima para agosto.

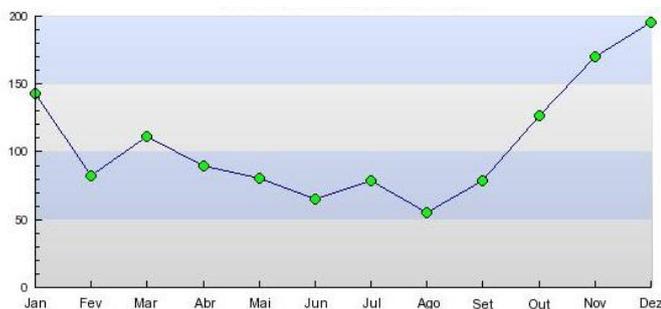


Gráfico 6 - Normais climatológicas de Precipitação no período entre 1961 a 1990 da cidade de Vitória. Fonte: INMET (2009).

A umidade acompanha, em grande parte, o gráfico da precipitação, como é possível diagnosticar no Gráfico 7. A diferença acontece, principalmente, nos meses de junho e julho, em que a umidade é alta (77%).

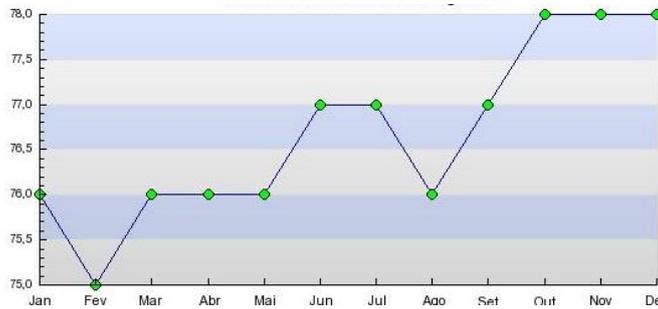


Gráfico 7 - Normais climatológicas de umidade no período entre 1961 a 1990 da cidade de Vitória. Fonte: INMET, 2009).

O Instituto divulga temperaturas máximas absolutas (Gráfico 8), mínimas absolutas (Gráfico 9), máximas (Gráfico 10), mínimas (Gráfico 11) e médias (Gráfico 12).



Gráfico 8 - Normais Climatológicas das temperaturas máximas absolutas no período entre 1961 a 1990 da cidade de Vitória. Fonte: INMET (2009).



Gráfico 9 - Normais Climatológicas das temperaturas mínimas absolutas no período entre 1961 a 1990 da cidade de Vitória. Fonte: INMET (2009).



Gráfico 10 - Normais Climatológicas das temperaturas máximas no período entre 1961 a 1990 da cidade de Vitória. Fonte: INMET (2009).



Gráfico 11 - Normais Climatológicas das temperaturas mínimas no período entre 1961 a 1990 da cidade de Vitória. Fonte: INMET (2009).



Gráfico 12 - Normais Climatológicas das temperaturas médias no período entre 1961 a 1990 da cidade de Vitória. Fonte: INMET (2009).

Analisando os gráficos 5 a 12, constata-se que a cidade de Vitória não possui grandes amplitudes térmicas, sendo a média dessas está fixada entre 7 e 9°C, com as menores amplitudes para os meses de outubro, novembro, dezembro e janeiro.

## 3. METODOLOGIA

A metodologia desta pesquisa, que teve parte do seu desenvolvimento embasado nos procedimentos do “método de simulação” para a classificação dos níveis de eficiência energética e etiquetagem de edifícios segundo o RTQ-C, foi planejada em 8 (oito) etapas principais, conforme a seguir detalhado.

### 3.1 RECORTE DO OBJETO: DEFINIÇÃO DO TIPO DE EDIFICAÇÃO

Optou-se, para o presente estudo, analisar a influência das variáveis arquitetônicas em **edifícios altos de escritórios climatizados artificialmente** pela relevante contribuição em relação ao consumo energético nacional. Esse modelo é reproduzido tanto em edificações comerciais, quanto para prédios públicos, sendo esses dois usos responsáveis por, aproximadamente, 23% da demanda de energia elétrica e com previsão de aumento para 26% em 2030 (MME, 2007). Além disso, também tem um comportamento mais fácil de ser modelado no processo de simulação, pois suas programações, número de ocupantes e atividades são bem definidos.

As simulações foram feitas **sem considerar a influência do entorno**, avaliando-se o edifício individualmente. A variabilidade de possibilidades do entorno poderia inviabilizar o estudo alterando significativamente os resultados e, ainda, escapar do foco da pesquisa que é o desempenho da edificação desenvolvida por meio de um modelo hipotético. Além disso, segundo Scalco, Pereira e Rigatti (2010), ainda não existem métodos consistentes e padronizados para a análise de alguns dos itens abordados em estudos de impacto de vizinhança brasileiros, além de as prerrogativas normalmente consideradas serem inadequados para o estudo em questão, seja pela utilização de técnicas limitadas, seja pela ausência de parâmetros consistentes.

### 3.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Essa etapa consiste na revisão de literatura de estudos precedentes publicados e de normas tanto nacionais, quanto internacionais referentes ao desempenho térmico de construções, à eficiência energética, e a caracterização do clima de Vitória além de informações para o suporte das simulações planejadas. Essas foram investigadas tanto em relação aos procedimentos de utilização do *software* e seleção das variáveis a serem averiguadas, como para a caracterização de um edifício de referência que fosse ao mesmo tempo representativo da realidade construtiva de Vitória e adequado para processo de simulação definido pelo RTQ-C (MME, 2009b).

### 3.3 CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO DE REFERÊNCIA

No geral, as simulações termoenergéticas lidam com interações complexas sob uma diversidade de condições, sendo que estas, apesar de se aproximarem das interações reais e mais complexas pertencentes aos edifícios, ainda trabalham com simplificações da realidade, representadas nos modelos (CARLO; LAMBERTS, 2010). A fim de se minimizar possíveis incoerências advindas dessas simplificações é preciso que esses exemplares sejam definidos com informações mais próximas da realidade quanto for possível. Para isso, é preciso identificar características típicas tanto das construções, quanto dos padrões de uso das edificações pesquisadas, assim, o desejável seria a elaboração de um levantamento de dados *in loco* das seguintes informações (Quadro 3):

<b>Base de dados para a caracterização dos edifícios</b>
Levantamento da localização e número de edifícios de escritórios
Levantamento das características predominantes: orientação solar, forma, elementos de proteção solar, levantamento das cores externas, número de pavimentos
Definição de uma tipologia predominante
Levantamento das atividades de edifícios e seus padrões de ocupação e de uso dos equipamentos
Monitoramento da temperatura e umidade do ar de edifícios

Quadro 3 - Base de dados para a caracterização dos edifícios.

No entanto, para que esses resultados sejam representativos, é preciso que o levantamento seja feito em um número considerável de edificações, sendo tal procedimento inviável em função do tempo disponível para o desenvolvimento da pesquisa. Grande parte dos estudos similares a este obtiveram tais dados ora por meio de pesquisas paralelas, ora através de publicações anteriores. Venâncio (2007), que necessitava da caracterização climática de edifícios localizados no Campus da UFRN, contou com os dados disponibilizados por Lima e Pedrini (*apud* VENÂNCIO, 2007), resultado de um projeto de iniciação científica. Já Santana (2006) utilizou os resultados de dois trabalhos, também de iniciação científica, desenvolvidos paralelamente à pesquisa no Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – LABEEE, em Santa Catarina. No caso de Leite (1997) o levantamento foi feito apenas em dois edifícios e contou com um grupo formado por alunos de graduação e pós-graduação da FAUUSP que realizou o procedimento durante uma disciplina<sup>6</sup>.

Como não foi possível a estruturação de uma equipe para realizar as atividades dessa etapa e nem foi encontrado nenhum levantamento tão completo para a cidade de Vitória, buscou-se, por meio de estudos precedentes, identificar informações que equiparassem à realidade local. Ressalta-se ainda que a temática relacionada aos edifícios verticais para uso comercial já tinha sido estudado, anteriormente culminando no trabalho final do curso de graduação em arquitetura e urbanismo intitulado “Verticalização à luz da Sustentabilidade” (BERNABÉ, 2008).

Localizou-se, então, um estudo realizado no LABEEE, da Universidade Federal de Santa Catarina, e coordenado por Roberto Lamberts, Enerdir Ghisi e Greici Ramos, cujo título é “Impactos da Adequação Climática Sobre a Eficiência energética e o Conforto Térmico de Edifícios de Escritórios no Brasil” (LAMBERTS; GHISI; RAMOS, 2006). Tal pesquisa, cujos resultados foram publicados em 2006, teve por objetivo principal, diagnosticar a situação de edifícios de escritório localizados em oito regiões climáticas do Brasil, com relação ao consumo de energia, à eficiência energética e ao desempenho térmico. Para que fosse possível a realização dos levantamentos em pontos distribuídos no território brasileiro, se fez necessária a participação de oito instituições federais, sendo uma para cada zona

---

<sup>6</sup> Os alunos de graduação cursavam a disciplina de Avaliação de Pós-ocupação como Metodologia de Projeto e os de Pós-Graduação a disciplina de Avaliação de Pós-ocupação.

bioclimática brasileira definida pela NBR 15.220-3 (ABNT, 2005c), contando com distintas equipes de pesquisadores.

Os levantamentos da zona 8, onde Vitória se localiza, foram realizados em Alagoas, na cidade de Maceió, pela Universidade Federal desse Estado. Ainda que a referência seja de outra região política – Nordeste –, com características climáticas distintas, foi identificado no resultado geral da pesquisa, que as características desses edifícios investigados são, em grande parte, comuns a todas as regiões do Brasil (LAMBERTS; GHISI; RAMOS, 2006). Isso sugere a pouca adequabilidade que as edificações têm em relação às características climáticas do sítio em que se insere e, ao mesmo tempo, reforça a possibilidade da utilização dos dados levantados para a modelagem de um edifício referência para as simulações e representativo dessas edificações na cidade de Vitória.

Assim, os resultados obtidos por Lamberts, Ghisi, Ramos (2006) é a base de comparação dos modelos propostos, considerando que o mesmo deveria atender ainda, os pré-requisitos e características para obter o nível A de eficiência para a envoltória segundo o RTQ-C (MME, 2009c). Mas, apesar de o Procel propor uma classificação de edifícios variando numa escala de A (mais eficiente) até E (menos eficiente), só foram classificados os modelos que alcançaram o índice de maior eficiência, pois a classificação dos mesmos, pelo processo de simulação, requer um ajuste na densidade de potência de iluminação e no CoP do ar condicionado (Tabela 5) para cada nível de eficiência pretendido, tanto para o edifício de referência, quanto para os modelos propostos, sendo esta uma alteração que acabaria inviabilizando as outras análises, já que esses terão valores fixos.

Tabela 5 - Limites de eficiência de condicionadores de ar do tipo *split*, para cada nível de eficiência

Classes	Coeficiente de eficiência energética	
	Mínimo	Máximo
<b>A</b>	2,94	
<b>B</b>	2,76	2,94
<b>C</b>	2,58	2,76
<b>D</b>	2,39	2,58
<b>E</b>		2,39

Fonte: (MME, 2009b).

Para a proposição do Edifício de Referência, o regulamento estabelece que alguns parâmetros sejam fixados. A transmitância térmica e a absorvância solar, para o nível A de eficiência, devem seguir a Tabela 6. Com relação às aberturas, ele define, através dos ângulos de sombreamento iguais a zero, que não devem existir dispositivos de proteção à radiação solar, nem verticais nem horizontais. Seus vidros devem ser simples, com 3mm de espessura e com Fator Solar igual a 0,87 (MME, 2009c) e seu percentual de abertura deve ser calculado de acordo com o índice de consumo – IC.

Tabela 6 – Valores estabelecidos pelo RTQ-C

Característica	Local	Valor	
Transmitância Térmica máxima	Parede	<80kJ/m <sup>2</sup> K	2,5 W/m <sup>2</sup> K
		>80kJ/m <sup>2</sup> K	3,7 W/m <sup>2</sup> K
	Cobertura	1,0W/m <sup>2</sup> K	
Absortância Solar	Parede	<0,4	
	Cobertura	<0,4	

Fonte: MME (2009c)

De posse das informações publicadas no estudo citado, das exigências do RTQ-C, de normas locais – como o Plano Diretor Urbano (PDU) de Vitória e a legislação de segurança do Corpo de Bombeiros – e de outras referências citadas posteriormente, foi elaborada a caracterização do modelo para o Edifício Referência (Figuras 13 e 14), sendo essa descrita nos Quadro 4 e 5.

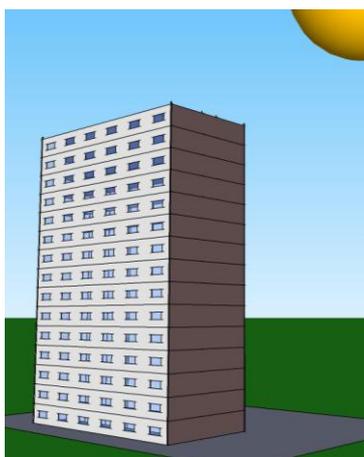


Figura 13– Croqui perspectivo do modelo a ser simulado.

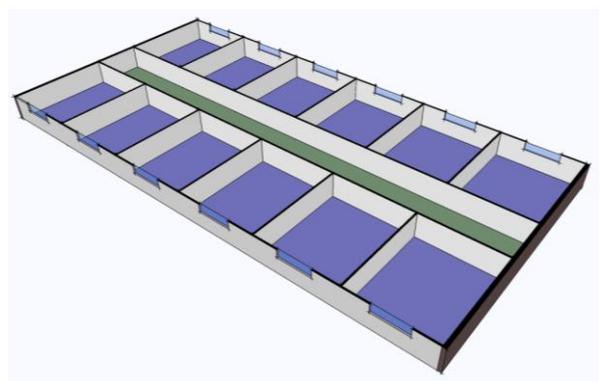


Figura 14– Croqui perspectivo da planta pavimento tipo com a delimitação das zonas.

Geometria e componentes do edifício			
Característica		Justificativa	
Altura	15 pavimentos	Lamberts, Ghisi e Ramos (2006) relatam que o gabarito estabelecido pela legislação de cada cidade influencia as alturas dos edifícios. Em Vitória, a maior incidência de edifícios de escritório ocorre na região da Enseada do Suá e, segundo o PDU vigente, o gabarito é livre, fora as áreas dos cones visuais para o Convento de Nossa Senhora da Penha, sendo estabelecida uma altura equivalente a 15 pavimentos.	
Pé direito	3,00m		
Planta	Forma	Retangular	62% dos edifícios têm forma retangular (LAMBERTS; GHISI; RAMOS, 2006).
	Dimensão	30x15m	
Quant. de salas por pavimento	12	Divisão definida pela autora.	
Proteção Solar	Sem proteção	Lamberts, Ghisi e Ramos (2006) ressaltam a baixa utilização de <i>brises</i> , ou qualquer outro elemento da fachada que funcione como elemento sombreador das aberturas ou parte delas.	
Refletância dos componentes opacos das fachadas	0,6	45% dos edifícios brasileiros apresentam refletâncias entre 0,5 e 0,7, sendo que 34% dos edifícios têm fechamentos que absorvem mais de 50% da radiação incidente nelas (LAMBERTS; GHISI; RAMOS, 2006).	
Componente das paredes	Bloco cerâmico, 6 furos, 15 cm: $U=2,48W/m^2.K$	Lamberts, Ghisi e Ramos (2006) relatam que todos os edifícios foram construídos com paredes externas de tijolo cerâmico, porém, também identifica uma diversidade nos componentes. Para a simulação, optou-se por utilizar o fechamento com maior transmitância (pior situação), pois ela ainda está dentro dos valores estabelecidos pela NBR 15.220-3 (ABNT, 2005c) cuja transmitância deve atender $U \leq 3,00W/m^2.K$ .	
Cobertura	Laje de 10 cm	A maioria das edificações brasileiras apresenta a cobertura com laje impermeabilizada sem proteção (LAMBERTS; GHISI e RAMOS, 2006).	
Vidros	3mm, incolor, comum	O vidro comum de 3mm foi o mais encontrado no levantamento elaborado por Lamberts, Ghisi e Ramos (2006).	
PAF	40%	De acordo com o cálculo proposto pelo RTQ-C, que tem por base o PAF do edifício a ser avaliado, o percentual deve ser de 39% em relação a todas as fachadas. Além disso, 80% das edificações apresentam o percentual de abertura nas fachadas entre 0 e 50%, segundo Lamberts; Ghisi e Ramos (2006).	

Quadro 4 - Caracterização do padrão de ocupação e equipamentos do edifício-base para a simulação.

Padrão de ocupação e equipamentos		
Característica		Justificativa
Tipo de atividade	Escritório: leve Fator Metabólico: 0,9	Grande parte das salas comerciais são destinadas ao desenvolvimento vinculadas às áreas de odontologia, advocacia e contabilidade (LAMBERTS; GHISI; RAMOS, 2006).
Horário de funcionamento	Ocupação total: 8h às 12h e 14h às 18h Ocupação reduzida para 50%: 12h às 14h	Lamberts, Ghisi e Ramos (2006) relatam que o horário de funcionamento varia de acordo com a atividade, podendo ser de 8h até 20h. No entanto, foi estabelecido o horário comercial por retratar um período de funcionamento da maioria das salas comerciais, observando-se ainda que, depois desse horário, o número de ocupantes é bem reduzido.
Densidade de ocupação	0,14 pessoas/m <sup>2</sup>	Segundo a NBR 16401 (ABNT, 2008) para escritórios de média densidade.
Carga de ilum.	6,4W/m <sup>2</sup>	Utilizada por Carrieres (2007).
Carga de equip.	9,7W/m <sup>2</sup>	Utilizada por Carrieres (2007).
Temperatura de Controle	24°C	Temperatura limite para acionamento do sistema de ar condicionado, sem aquecimento no período do inverno, conforme prática comum adotada no Brasil (GHISI ; TINKER, 2005).
Nível de iluminação de referência	500 lux	Recomendado pela NBR 5413 (ABNT, 1992) para ambientes de trabalho.
Umidade Rel. Int. (%)	entre 40% a 60%	Segundo a NBR 16401 (ABNT, 2008).
Tipo de sistema de ar condicionado	<i>Split</i> piso-teto Cap Ref <sup>7</sup> : 48.000 (BTu/h) EE <sup>8</sup> : 3,2 (W/W) Consumo: 92,1(KWh/mês)	Modelo difundido no mercado e com o nível A de eficiência energética, segundo o INMETRO (2011).

Quadro 5 - Caracterização do padrão de ocupação e equipamentos do edifício-base para a simulação.

<sup>7</sup> Capacidade de Refrigeração

<sup>8</sup> Eficiência Energética

### 3.4 TRIAGEM DAS VARIÁVEIS DE CONTROLE E DAS INVESTIGADAS NA SIMULAÇÃO

O edifício referência, utilizado para nortear o consumo energético nas simulações, foi planejado com alguns parâmetros variáveis – objeto da investigação – e outros fixos, de controle. O RTQ-C exige que algumas características sejam comuns entre o modelo de referência e os propostos, que são:

- mesma geometria;
- mesmo padrão de uso e operação dos sistemas;
- mesmo valor de DCI (Densidade de Carga Interna) de equipamentos;
- mesmo padrão de uso das pessoas; e
- mesmo sistema de condicionamento de ar.

Com base nesses e em outros parâmetros identificados como relevantes para o controle da simulação, foi proposto o Quadro 6, cujos valores já foram estabelecidos no Quadro 5.

Parâmetros de controle	
Características arquitetônicas	Planta baixa do edifício
	Gabarito
	Pé direito
	Transmitância dos componentes opacos
	Cobertura
Características de ocupação	Tipo de atividade
	Horário de funcionamento
	Densidade de Ocupação
	Carga de iluminação
	Carga de equipamento
	Equipamento de ar condicionado
	Temperatura de controle

Quadro 6 – Parâmetros de controle não variáveis na simulação.

Apesar da transmitância dos componentes opacos ser uma variável importante para o consumo energético, ela não será investigada na simulação, pois, de acordo com estudos precedentes, ainda não há um consenso do real comportamento desta característica em

relação ao aumento ou redução da demanda energética para o condicionamento do ar, destacando-se que Carlo (2008) ressalta que essa questão deve ser avaliada com maior profundidade para alcançar resultados mais consistentes. Em seu estudo, no qual equaciona as características influentes no consumo de energia elétrica, a autora reforça a complexidade e não-linearidade da relação entre esse e a transmitância térmica de paredes externas, resultando na exclusão dessa característica na equação proposta.

Já Mello (2007) contesta os limites adotados pela Standard 90.1 (ASHRAE, 2004), afirmando que esses podem ser excedidos uma vez que, para os três climas analisados, a utilização de uma parede com alto valor de transmitância térmica facilitou a dissipação dos ganhos internos para o ambiente externo reduzindo o consumo do sistema de condicionamento de ar. Tal fato enfatiza a não-linearidade entre o consumo e a transmitância encontrada por Signor (1999).

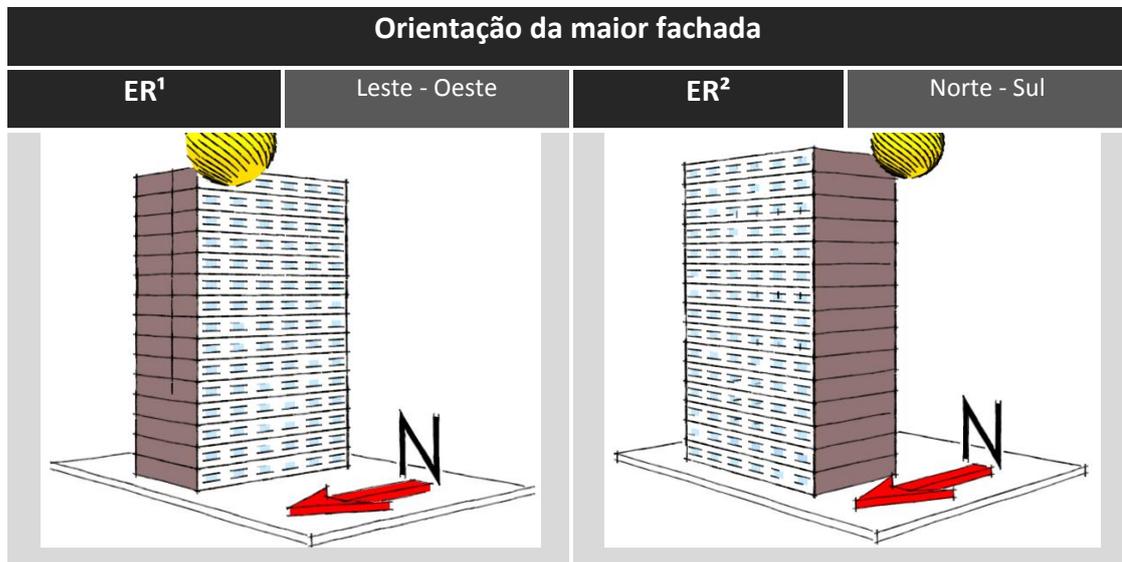
Foram então selecionadas 5 (cinco) variáveis a serem investigadas, sendo elas: orientação da maior fachada; presença de proteção solar eficiente nas aberturas; fator solar dos vidros; percentual de aberturas nas fachadas; e absorvância das superfícies opacas. Essas foram simuladas com dois ou três valores, dependendo da característica, incluindo os já estabelecidos para o edifício de referência, como demonstra a Tabela 7.

Tabela 7 – Parâmetros variáveis para os modelos simulados.

Variável		Edifício Referência		Propostos	
		ER <sup>1</sup>	ER <sup>2</sup>		
01	Orientação da maior fachada	L-O	N-S	L-O	N-S
02	Proteção solar externa	Sem proteção		Com proteção solar	
03	Fator Solar dos Vidros	0,86 Transp. Simples - 3mm		0,74 Transp. Duplo - 3mm	0,26 Reflexivo - 3mm
04	PAF	60%		80%	30%
05	Absortância	0,4		0,3	0,70

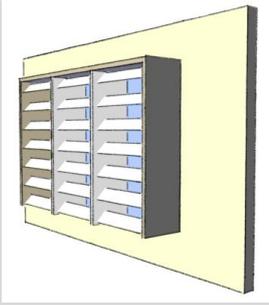
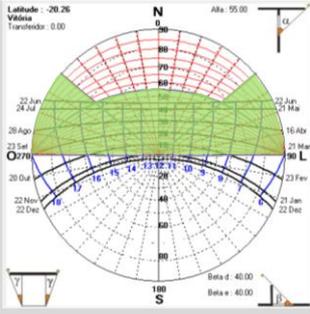
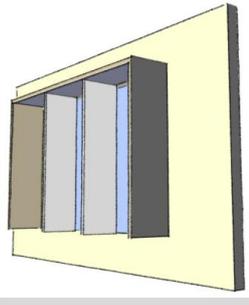
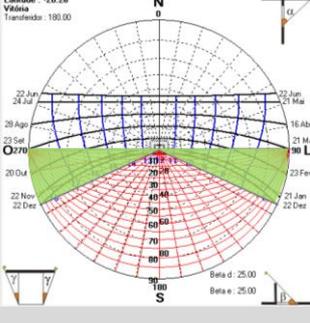
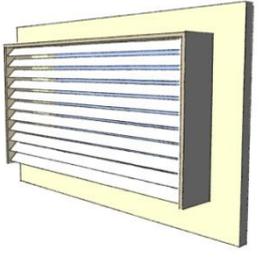
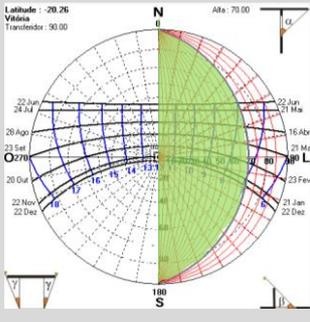
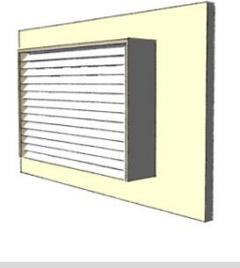
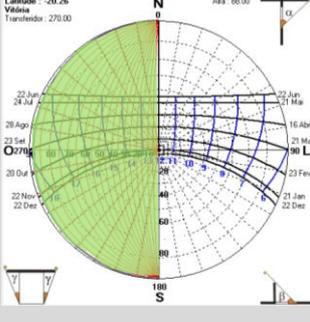
O RTQ-C exige, para o processo de simulação, que tanto o edifício referência quanto o edifício a ser avaliado tenham a mesma orientação. Como pretende-se avaliar duas

situações, Norte-Sul e Leste-Oeste, decidiu-se por separar o Edifício Referência (ER) em ER<sup>1</sup> e ER<sup>2</sup>, modificando apenas sua orientação conforme Quadro 7.



Quadro 7 - Orientação proposta para a simulação dos edifícios.

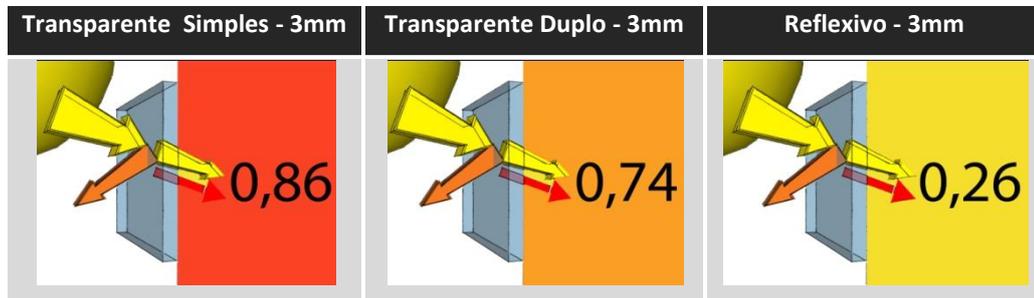
Com relação à Proteção Solar, foram simulados dois casos: um sem qualquer dispositivo de sombreamento, representando o ER; e outro em que as aberturas receberam um *brise* externo. Como o objetivo não é avaliar a eficiência do mesmo, mas de uma situação em que as janelas estejam seguramente protegidas da incidência solar direta, foi proposto um dispositivo específico para cada fachada (Quadro 8), garantindo o sombreamento no horário comercial, de 8 às 18h, por ser o período de ocupação total do edifício. Todos os dispositivos foram projetados com lâminas, ora horizontais, ora verticais, ou mesmo com uma composição das duas, envolvidos uma caixa com 70 cm de largura.

	Perspectiva	Máscara Solar		
NORTE			Largura Lâmina Horizontal	15 cm
			Ângulo Lâmina Horizontal	45°
			Alfa	56°
			Beta	40°
SUL			Largura Lâmina Horizontal	.
			Ângulo Lâmina Horizontal	.
			Alfa	.
			Beta	25°
LESTE			Largura Lâmina Horizontal	15 cm
			Ângulo Lâmina Horizontal	45°
			Alfa	70°
			Beta	-
OESTE			Largura Lâmina Horizontal	15c m
			Ângulo Lâmina Horizontal	45°
			Alfa	88°
			Beta	-

Quadro 8 - Brises projetados para as aberturas e sua respectiva ação representados nas máscaras solares para a cidade de Vitória.

A escolha do tipo de vidro teve como premissa a análise de materiais com fatores solares diferentes daquele proposto para o Edifício Referência, ou seja, enquanto este foi projetado com vidro transparente simples, os outros dois são transparente duplo e reflexivo (Quadro 9). Michelato (2007) ressalta que os vidros refletivos podem ser aliados do conforto

ambiental e da eficiência energética nas edificações, com a função de filtrar os raios solares através da reflexão da radiação em todas as suas frequências, de forma seletiva.



Quadro 9 - Fatores Solares propostos para a investigação.

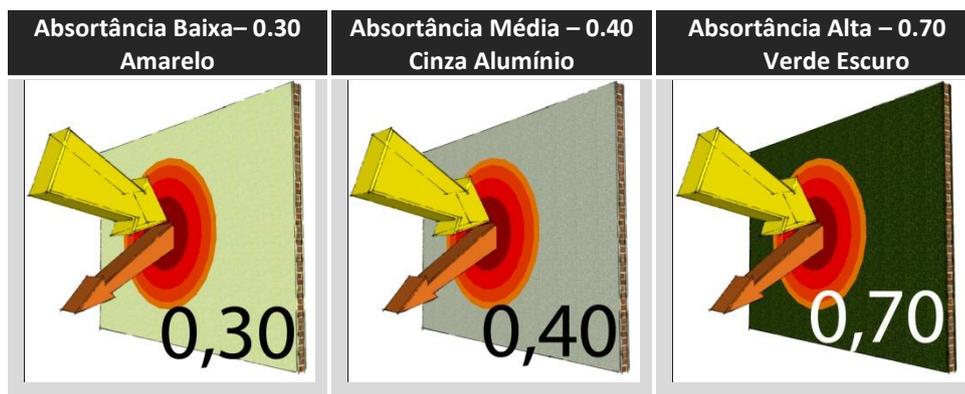
Em relação ao Percentual de Abertura na Fachada, cujo valor foi de 60% para o edifício de referência, buscou-se investigar situações recorrentes em relação à conjuntura real verificada na região, bem como da possibilidade de adoção desse valor caso apresente significativa influência na redução do consumo. Uma das proposições contempla o percentual de 30%, ou seja, pouco menor do que a de referência. Já a outra condição proposta busca retratar uma situação já encontrada em Vitória: as fachadas com pele de vidro e grandes vãos envidraçados, adotando o valor de 80% de PAF.

É importante ressaltar que esses valores – 30%, 60% e 80% – são percentuais em relação às duas maiores fachadas por serem as que recebem as aberturas, ou seja, quando a taxa de abertura se refere a todo edifício – quatro fachadas –, o percentual é de 20%, 40% e 53%, respectivamente (Quadro 10). Essa configuração foi utilizada para facilitar a visualização e compreensão dos modelos, já que duas das quatro fachadas foram estabelecidas com paredes cegas (sem abertura).



Quadro 10 - Percentuais de Abertura na Fachada propostos.

A seleção dos valores de absorvância teve com referência os dados publicados no levantamento de Lamberts, Ghisi e Ramos (2006), em que 45% dos edifícios têm o índice entre 0,3 e 0,5 (valor escolhido para o Edifício Referência); 28% na faixa de 0,5 e 0,7 e 21% com a absorvância de 0,3. Decidiu-se, então, por trabalhar com paredes externas revestidas com pinturas nas cores amarelo claro e verde escuro, com 0,3 e 0,7 de absorvância, respectivamente, além da cor cinza – 0,4 – para o Edifício de Referência, sendo esta uma cor de valor intermediário no processo de simulação (Quadro 11).



Quadro 11 - Absorvâncias propostas para a investigação.

### 3.5 ESCOLHA DO SOFTWARE

Avaliar o desempenho energético de edificações é uma tarefa complexa que envolve grande quantidade de variáveis interdependentes e conceitos multidisciplinares. A evolução computacional foi fundamental para o desenvolvimento dos modelos físicos que representam o comportamento térmico e energético de edificações, permitindo a simulação de diferentes cenários (MENDES *et al.*, 2005).

Através dos programas de simulação, pode-se avaliar o desempenho térmico e energético de edificações para diferentes alternativas de projeto, sejam elas do desenho arquitetônico, componentes construtivos, sistemas de iluminação ou sistemas de condicionamento de ar. Com a simulação computacional, pode-se estimar o consumo de energia, o custo desse consumo e até mesmo o impacto ambiental provocado pela alternativa de projeto antes mesmo de sua execução. No entanto, o uso da simulação exige, na prática, uma garantia de que os resultados estão em conformidade com a realidade (PEDRINI, 2003), sendo necessária a seleção de uma ferramenta já submetida a uma validação.

Para a escolha do *software*, foi realizado um levantamento com dois focos principais: o primeiro, voltado para a compilação das principais ferramentas computacionais disponíveis no mercado avaliando as potencialidades e dificuldades de cada uma; já o segundo consistiu em uma análise dos *softwares* mais usados em publicações relevantes e consoantes a essa pesquisa. Atualmente existem, aproximadamente, 330 programas de simulação listados no *Building Energy Tools Directory*, que pode ser acessado através do link [www.eere.energy.gov/buildings/tools\\_directory](http://www.eere.energy.gov/buildings/tools_directory), sendo esta uma página mantida pelo Departamento de Energia dos EUA que reúne informações sobre as principais ferramentas disponíveis. Parte dessa lista é descrita no Quadro 12.

Disponibilidade de <i>softwares</i>						
Ferramenta	Sistema	Origem	Usuários	Interface Gráfica	Bestest	Software livre
DOE-2	Unix	-	1.000	-		✓
ESP-R	Fortran, Unix, Linux, GNU	-	-	-	✓	✓
ENERGY PLUS	Windows XP e Vista Mac OS Linux	DOE-2 e BLAST	85.000	-	✓	✓
TRNSYS	Windows 95, 98, NT, ME e 2000	-	500			
ECOTECT	Windows 95, 98, NT, XP e 2000	-	2.000	+		
DESIGNBUILDER	Windows XP e 2000	DOE-2 e BLAST	200 (Abril, 2006)	+	✓	
VISUALDOE	Windows 95, 98, NT, ME, XP e 2000	DOE – 2.1E	1.000	-		
BENTLEY TAS	Windows XP e Vista	-	250	+		
OBS.: Interface Gráfica (-) não amigável e (+) amigável						

Quadro 12 – Seleção de *softwares* de desempenho térmico Fonte:U.S. Department of Energy (2010).

Com relação aos trabalhos relevantes na área de pesquisa que usaram alguma ferramenta computacional de desempenho energético (Quadro 13 e 14), pode-se ressaltar o uso do *EnergyPlus* como um *software* bem difundido no âmbito acadêmico nacional.

<b>Título</b>	<b>Autor</b>	<b>Data</b>	<b>Instit.</b>	<b>Software</b>
Impacto das envolventes verticais no desempenho energético de edifícios de escritórios	PIRRÓ, Lucia	2005	USP	<i>Energyplus</i>
Análise paramétrica do desempenho termo-energético de um edifício de escritórios	BULLA, Luis.A.S.	1995	UFSC	DOE 2-1E
Análise de regressão do consumo de energia elétrica frente a variáveis arquitetônicas para edifícios comerciais climatizados em 14 capitais brasileiras	SIGNOR, Regis	1999	UFSC	DOE 2-1E
A influência de parâmetros construtivos no consumo de energia de edifícios de escritório localizados em Florianópolis – SC	SANTANA, Marina Vasconcelos	2006	UFSC	<i>EnergyPlus</i>
Das normas em conforto térmico ao projecto de arquitectura. Estudo de Caso para edifícios de Habitação – Zona Bioclimática Brasileira Z3 – Brasil	YOSHIDA, Rosana	2006	UTL	<i>EnergyPlus</i>
A influência das decisões arquitetônicas na eficiência energética do Campus/UFRN	VENÂNCIO, Raoni	2007	UFRN	<i>DesignBuilder</i>
Desempenho Térmico e Consumo Energético de Edifícios de Escritórios em São Carlos, SP	CARRIERÈS, Kellen Regina Monte	2007	Unicamp	<i>EnergyPlus</i>
Área de janela e dimensões de ambientes para iluminação natural e eficiência energética: literatura versus simulação computacional	GHISI, Enedir TINKER, John. IBRAHIM, Siti	2005	UFSC	VisualDOE
Avaliação de desempenho térmico de uma habitação de interesse social segundo <i>DesignBuilder</i>	NEGREIROS, Bianca	2008	UFRN	<i>DesignBuilder</i>
Análise do impacto de elementos de sombreamento externo sobre a carga térmica de edificações	BORDUNI, Ronald PIMENTA, João	2007	UNB	<i>EnergyPlus</i>

Quadro 13 - Publicações relevantes na área de eficiência energética no âmbito nacional (Continua).

Título	Autor	Data	Instit.	Software
A aplicação do <i>software</i> ESP-r e simulações energéticas e de conforto ambiental	ROMÉRO, Marcelo PIRRÓ, Lúcia GUGLIELMETTI, Ana Helena	1998	USP	ESP-r
Estimativa do consumo de energia elétrica de edificações climatizadas não residenciais utilizando dados climáticos simplificados	WESTPHAL, Fernando LAMBERTS, Roberto CUNHA, José Antônio	2002	UFSC	VisualDOE
Simulação energética de edificações no programa <i>EnergyPlus</i> utilizando dados das normas climatológicas	WESTPHAL, Fernando LAMBERTS, Roberto	2005	UFSC	<i>EnergyPlus</i>

Quadro 14 - Publicações relevantes na área de eficiência energética no âmbito nacional (Conclusão).

Com base nesses levantamentos, é possível concluir que o *EnergyPlus* tem uma aplicabilidade adequada para esta pesquisa, considerando que tem sido usada e validada por várias instituições com relevantes estudos na área. No entanto, Mendes *et al.* (2005). advertem que diversos grupos de usuários desse *software* referem-se à falta de uma interface amigável como um entrave para o uso do mesmo. Desse modo, decidiu-se por uma ferramenta cuja manipulação de dados fosse menos complexa, a fim de eliminar possíveis incoerências na inserção *inputs*, optando-se, assim, pelo *DesignBuilder*, uma interface gráfica para o *EnergyPlus*.

### 3.6 PROCESSO DE SIMULAÇÃO

A manipulação das variáveis independentes para a verificação do efeito produzido é um procedimento de simulação concretizado. No caso em estudo, as variáveis manipuladas se configuram como diferentes soluções de projetos avaliadas sobre um modelo virtual. Para isso, foi necessário estabelecer uma estrutura organizacional de simulação e, com a base de dados de entrada já definida, foi proposta a codificação das variáveis e montagem dos modelos a serem investigados. O Quadro 15 demonstra as siglas a serem empregadas e seus respectivos significados.

Sigla	Significado
O.NS	Orientação Norte-Sul para a maior fachada
O.LE	Orientação Leste-Oeste para a maior fachada
SPS	Sem Proteção Solar externa
PS	Com proteção solar total para o intervalo de maior ocupação - horário comercial (8h às 18h)
FS.86	Fator Solar dos vidros igual a 0,86
FS.74	Fator Solar dos vidros igual a 0,74
FS.26	Fator Solar dos vidros igual a 0,26
PAF.80	Percentual de 80% para as aberturas
PAF.60	Percentual de 60% para as aberturas
PAF.30	Percentual de 30% para as aberturas
AB.40	Absortância média de 0,4 – cor cinza médio ou alumínio
AB.30	Absortância baixa de 0,3 - cor amarelo claro
AB.70	Absortância alta de 0,7 – cor verde escuro

Quadro 15 - Siglas utilizadas nas simulações.

A compilação das 13 (treze) estratégias citadas no Quadro 15 resultou na proposição de 108 modelos parametrizados para as simulações. Esses foram codificados segundo suas variáveis e combinados de acordo com a sequência de simulação, sendo 2 (dois) edifícios de referência (ER<sup>1</sup> e ER<sup>2</sup>) e 106 destinados à investigação de parâmetros (Apêndice 1).

Cada um desses edifícios com suas variáveis foi modelado no *DesignBuilder*, obedecendo os procedimentos metodológicos específicos para cada etapa, a fim de evitar incoerências na modelagem que pudessem comprometer os resultados (Figura 15). Segundo Venâncio [20--], a abordagem geral do programa é dividida em 5 (cinco) etapas até a análise do caso de referência, quando o usuário deve realizar um diagnóstico acerca dos principais problemas de desempenho.

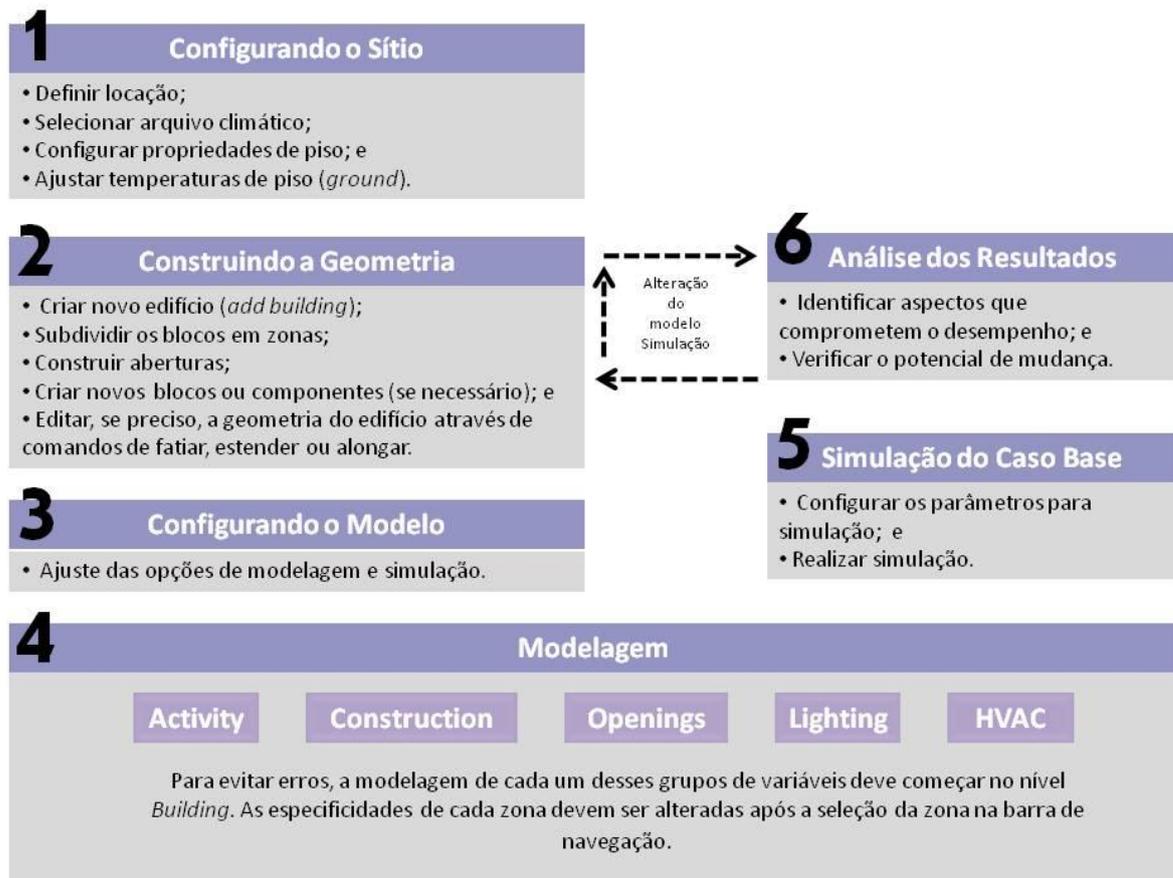


Figura 15 - Método geral para modelagem, simulação e análise de um caso base  
 Fonte:elaborado a partir de Venâncio, [20--].

Em todo processo de simulação, desde as configurações iniciais até modelagem, foram estabelecidos valores que estivessem concomitantemente em acordo com a realidade climática local, RTQ-C, bem como com a formatação do *DesignBuilder*. Alguns procedimentos já foram descritos anteriormente e outros seguem detalhados.

### 3.6.1 Configuração do sítio

#### 3.6.1.1 Definição de locação

Inicialmente, definiu-se o sítio de alocação “Vitória/Goiabeiras”<sup>9</sup> contendo informações como latitude, longitude, elevação com relação ao nível do mar, fuso horário e arquivo climático.

<sup>9</sup> A Estação Automática de Vitória do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) está instalada no campus de Goiabeiras da Universidade Federal do Espírito Santo.

### 3.6.1.2 Seleção do arquivo climático

O local “Vitória/Goiaberais”, por *default*, estava vinculado ao arquivo climático de Belo Horizonte/Congonhas. Uma vez que as informações climáticas de Belo Horizonte não são compatíveis à realidade de Vitória, optou-se por utilizar o TRY (*Test Reference Year*) de Vitória, por ser o arquivo mais atual com a formatação necessária para a utilização no *DesignBuilder*, sendo esse substituído no *template* de “Vitória/Goiaberais”.

### 3.6.1.3 Ajuste da temperatura do solo

O ajuste da temperatura do solo é importante para a minimização de erros na simulação, pois afeta o cálculo das perdas térmicas para o piso. Por falta de dados relativos às essas temperaturas na cidade de Vitória optou-se por utilizar, para estimar a temperatura do solo, as temperaturas médias mensais subtraídas de 2°C conforme o Manual do *DesignBuilder* (2009).

## 3.6.2 Construção da Geometria

O processo de modelagem dos edifícios foi realizado usando como base o pavimento típico previamente definido na pesquisa. Foram separadas treze zonas de atividade, sendo uma destinada à circulação e as outras doze zonas destinadas às salas comerciais climatizadas. Também na fase de construção da geometria foram construídas as janelas de acordo com o PAF adotado em cada modelo.

## 3.6.3 Configuração do modelo e modelagem

O processo de modelagem é realizado por meio de grupos de variáveis, organizados na forma de cinco abas, conforme a seguir especificado.

### 3.6.3.1 Atividade

Na aba de Atividade são definidas informações relativas à ocupação do edifício e/ou zona. Nessa aba foi feita a diferenciação entre as zonas de escritórios climatizados e zonas de circulação. Nas zonas de circulação, utilizou-se o *default* do *software* para rotina de ocupação e densidade de pessoas por m<sup>2</sup>; enquanto nas zonas de escritórios utilizou-se a

ocupação do edifício típico, previamente definida, bem como a rotina de ocupação típica baseada nos horários de funcionamento dos edifícios comerciais.

Na mesma aba foram adicionadas as informações de fator metabólico, temperatura de controle (°C), mínima vazão de ar, iluminação requerida bem como carga e rotina de funcionamento dos equipamentos, observando-se que todos esses fatores foram previamente definidos na tipologia do edifício base.

### 3.6.3.2 Construção

Nessa aba foram definidas as variáveis relacionadas às superfícies opacas como paredes, pisos ou coberturas. As configurações dos componentes dos elementos construtivos estão especificadas no Quadro 16.

Elemento	Componente	Espessura	Imagem
Paredes Externas e Paredes Internas	Argamassa comum	25 mm	
	Alvenaria	90 mm	
	Argamassa comum	25 mm	
Piso	Concreto	100 mm	
Cobertura	Asfalto (camada impermeável)	20 mm	
	Concreto	100 mm	

Quadro 16 – Elementos construtivos e seus constituintes.

Essa configuração foi utilizada para todas as simulações, no entanto, a camada externa do envelope do edifício foi variada de acordo com a absorvância do modelo, sendo essa uma das variáveis investigadas.

### 3.6.3.3 Aberturas

A aba referente a aberturas agrupa os fatores relacionados a todos os tipos de aberturas na estrutura do edifício principal. Nessa etapa adicionaram-se as informações de dimensões das janelas, molduras e divisórias, bem como do tipo de vidro e existência e propriedades dos elementos sombreadores. Foi fixada nessa pesquisa uma janela por sala, alocada na fachada de maior dimensão.

É preciso ressaltar que o PAF varia de acordo com as dimensões das janelas exibidas na Tabela 8; o Fator Solar varia de acordo com o tipo de vidro; e a existência ou inexistência de elementos sombreadores, são as variáveis investigadas.

Tabela 8 - Configurações de aberturas utilizadas nas simulações.

Dimensões da janela	PAF	Largura	Altura
	30%	1,5 m	3,0 m
	60%	3,0 m	3,0 m
	80%	4,0 m	3,0 m

### 3.6.3.4 Iluminação

Na aba de iluminação adicionaram-se as informações relativas à iluminação geral do escritório e ao controle de iluminação. O RTQ-C (2009) disponibiliza a Tabela 9 para a obtenção da Densidade de Potência de Iluminação Relativa Máxima ( $W/m^2/100$  lux) em função do Índice de ambiente, para edifícios de nível de eficiência A.

Tabela 9 - Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação (DPI<sub>RL</sub>) para o nível de eficiência A.

Índice de ambiente K	Densidade de Potência de Iluminação relativa W/m <sup>2</sup> /100lux (Nível A)
0,60	2,84
0,80	2,50
1,00	2,27
1,25	2,12
1,50	1,95
2,00	1,88
2,50	1,83
3,00	1,76
4,00	1,73
5,00	1,71

Fonte: adaptado de MME (2009c).

O cálculo do Índice de ambiente para áreas retangulares é dado pela Equação 1:

Equação 1 - Cálculo do Índice de ambiente (K) para áreas retangulares (MME, 2009c).

$$K = \frac{C \cdot L}{h (C + L)}$$

Em que:

C: comprimento total do ambiente

L: largura total do ambiente

h: altura entre a superfície de trabalho e o plano das luminárias no teto

Os valores usados foram:

C: 6,0 m

L: 5,0 m

h: 2,2 m

Obteve-se, como resultado, um Índice de ambiente (K) igual a 1,24. Como esse não é encontrado na Tabela 9, é recomendado pelo RTQ-C (2009) que esse valor seja encontrado através de cálculo por interpolação, a partir do qual obteve-se o valor 2,126 W/m<sup>2</sup>/100lux. No entanto, o *DesignBuilder* não permite, para esse parâmetro, a inserção de unidades

fracionárias e, como ele se refere à máxima densidade de potência de iluminação permitido, o valor inserido no programa foi  $2 \text{ W/m}^2/100\text{lux}$ .

Essa etapa também contempla a definição da rotina de utilização de iluminação, sendo então definido que essa deve acompanhar o padrão de ocupação do edifício, assumindo-se que a iluminação do prédio está restrita aos períodos ocupados. Ainda nessa fase, definiu-se o controle de iluminação em passos, ou seja, a iluminação é ligada ou desligada de acordo com a disponibilidade de luz natural de forma tênue.

### 3.6.3.5 Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (Heating, Ventilation, and Air Conditioning - HVAC)

As informações referentes aos sistemas de climatização são agrupadas na aba HVAC. Nela, adicionou-se o tipo de sistema de ar condicionado escolhido, o *split* - por ser o modelo recorrente em edifícios comerciais no Brasil. Seu modelo foi selecionado a partir das tabelas de consumo/eficiência energética do INMETRO (2008), sendo este um ar condicionado classe A, da marca *Westinghouse*, com Coeficiente de *Performance* igual a 3,52. O cronograma de funcionamento do sistema de condicionamento de ar, assim como o de iluminação, acompanhou o cronograma de ocupação previamente definido.

## 3.7 SIMULAÇÃO

Para a simulação do edifício, configuraram-se os parâmetros mensal e anual para a saída dos dados. Quanto aos *outputs*, selecionou-se a opção de Ganhos Internos (*Internal Gains*) para a obtenção de dados de consumo de iluminação e sistema de refrigeração, e a opção de Consumo de energia (Energy, HVAC, etc.) para a obtenção dos dados de consumo elétrico do edifício.

As simulações têm, como dado de saída, o **consumo de energia elétrica anual**, distribuídos entre a demanda de eletricidade dos equipamentos, de ar condicionado e iluminação e total, como mostra o Gráfico 13. Como dado de saída, foram gerados **gráficos** para cada modelo, objetivando explicar os dados para a avaliação do comportamento do consumo em cada mês e proceder a comparação do comportamento dessas informações em relação às

temperaturas médias mensais. Esses foram recolhidos também em forma de tabela com valores anuais, para facilitar a manipulação dos dados e obtenção de resultados consistentes.

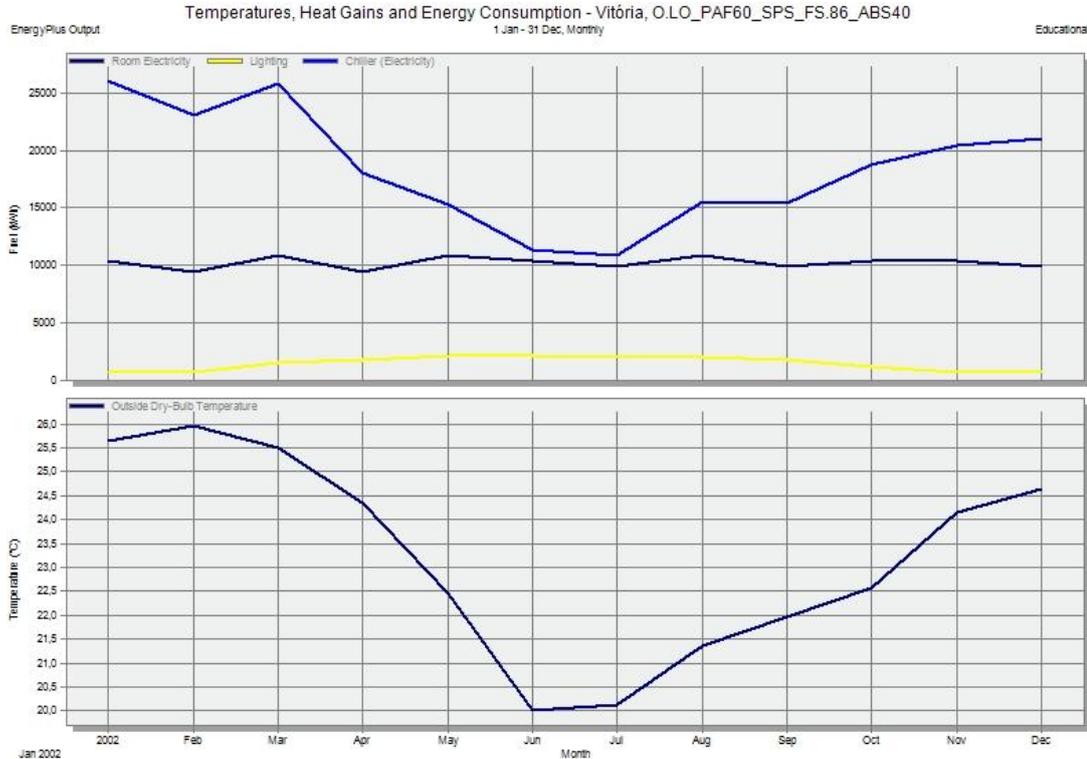


Gráfico 13 - Consumo energético do Edifício Referência 1.

### 3.8 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.8.1 Processo de simulação

Nessa etapa são identificados os entraves encontrados durante o processo, bem como as alterações feitas a fim de viabilizar as simulações e obter resultados consistentes e relevantes para a pesquisa.

#### 3.8.2 Classificação dos edifícios segundo o RTQ-C para a análise geral do consumo energético

Finalizado o processo de simulação, optou-se por uma análise geral feita com base na classificação dos edifícios de acordo com o RTQ-C. Essa análise conta com a seleção dos modelos que alcançaram o **nível de eficiência A**, ou seja, aqueles que atingiram um consumo

menor do que seu respectivo edifício referência. Ainda que pouco aprofundada, essa análise permite a conferência dos resultados esperados para a simulação e direciona o rumo de novos procedimentos no caso de incoerências.

### **3.8.3 Testes investigativos**

Na eventual ocorrência de alguma discrepância de dados, testes investigativos são realizados com o propósito de localizar as configurações que possam ter comprometido o desempenho dos modelos. Para isso, um grupo de edifícios é selecionado e refeita a simulação com novos dados de entrada. Os resultados dessas avaliações são traduzidos em gráficos comparativos que permitem a constatação de quão influente é a característica no dispêndio energético.

### **3.8.4 Impactos das variáveis no consumo energético**

#### **3.8.4.1 Impacto geral da alteração das variáveis**

Essa análise permite examinar quanto cada variável impacta no consumo geral dos edifícios. Através do agrupamento de modelos similares, verifica-se o impacto de apenas uma delas. Tal método permite a verificação do impacto da variável, ou seja, se sua alteração, em geral, acarreta um incremento ou redução do dispêndio energético.

#### **3.8.4.2 Impacto individual da alteração das variáveis**

Nessa etapa, é possível identificar o comportamento de cada modelo frente à alteração da variável investigada, bem como pontuar a interface desta com outras características. A análise permite detectar os edifícios que abarcam as maiores contas de energia.

#### **3.8.4.3 Percentual do incremento no consumo frente a alteração das variáveis**

Nessa etapa, o objetivo não é diagnosticar quanto cada edifício consome de energia, mas sim, apurar a influência de cada variável individualmente. Para essa análise, foi planejado um gráfico radar capaz de demonstrar, através de porcentagens de consumo, o desempenho de cada variável (Gráfico 14).

Os raios representam os grupos de modelos semelhantes em que todas as características são idênticas exceto a investigada, por exemplo, no Gráfico 14, o raio O.LO\_FS.86\_ABS30, destacado em vermelho, se refere aos edifícios: O.LO\_PAF30\_FS.86\_ABS30, O.LO\_PAF60\_FS.86\_ABS30, O.LO\_PAF80\_FS.86\_ABS30.

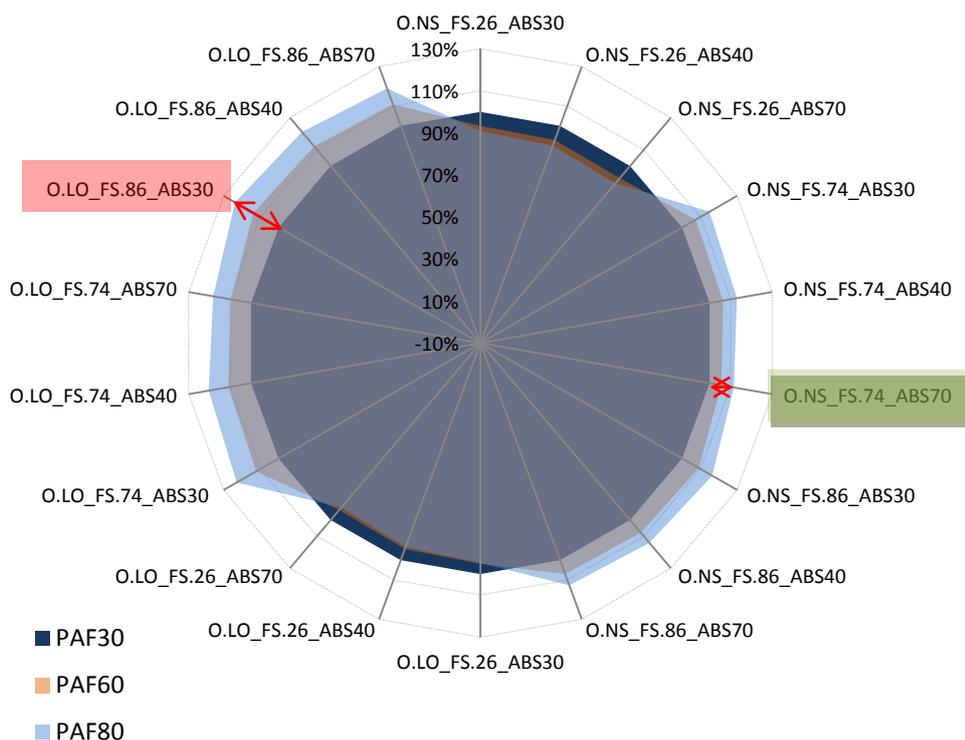


Gráfico 14 – Exemplo do gráfico utilizado para expressar o percentual de incremento no consumo energético.

O PAF é representado pelas áreas nas cores: azul marinho, laranja, e azul claro, ou seja, a alteração percentual do consumo é representada pela diferença entre as áreas. Isso quer dizer que, quanto maior for a diferença entre elas, mais impactante é a alteração dos valores daquela variável. Para realizar a análise, estabeleceu-se uma referência, no caso do Gráfico 14, o consumo do PAF30 foi estabelecido como 100%, e a partir dele é possível avaliar o incremento ou redução do consumo percentual.

Utilizando o Gráfico 14 como exemplo, percebe-se que a alteração do PAF nos edifícios do grupo O.LO\_FS.26\_ABS30, destacado em vermelho, é consideravelmente mais impactante do que nos modelos O.NS\_FS.74\_ABS70, destacados em verde; como é possível perceber nas setas indicativas em vermelho. É importante salientar que os edifícios destacados em

vermelho não têm, necessariamente, um consumo maior do que aqueles destacados em verde, já que o gráfico avalia apenas as variações percentuais de consumo, valores relativos e não absolutos.

### **3.9 RECOMENDAÇÕES**

A partir da análise dos resultados, foram propostas diretrizes projetuais que facilitem e estimulem a projeção de edifícios mais eficientes para a realidade climática de Vitória, respeitando, ainda, a tradição construtiva e a consolidada apropriação do espaço.

As recomendações foram propostas com base nos seguintes aspectos:

1. Estudos precedentes;
2. Publicações relevantes na área de eficiência energética; e
3. Resultados obtidos na pesquisa.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 PROCESSO DE SIMULAÇÃO

Com os 108 edifícios modelados partiu-se para a etapa de simulações. Estes foram organizados em 12 grupos de 9 modelos, estabelecidos segundo suas variáveis. Os 6 primeiros grupos tratavam das situações sem a proteção solar externa, ou seja, essas 54 possibilidades foram posteriormente investigadas com um *brise* externo. A primeira etapa foi simulada com sucesso e, a cada resultado, era feita uma análise do comportamento do modelo frente às modificações estabelecidas.

No entanto, iniciada a segunda fase de simulações, em que foram inseridos os dados dos *brises*, a situação se configurou de outra forma. A princípio, o tempo das simulações aumentou em 3600% no primeiro grupo da segunda fase – o sétimo, demonstrando a complexidade para o processamento das informações inseridas. Iniciados os trabalhos do oitavo grupo, ocorreu um erro de memória virtual insuficiente. Foram feitos testes com outros modelos subsequentes e em outros computadores, mas o erro persistiu. Como toda a pesquisa foi feita em equipamentos seguramente capazes de suportar esse tipo de simulação, decidiu-se por alterar o modelo com o intuito de simplificá-lo e, assim, viabilizar os testes.

Como o erro ocorreu após a inserção dos *brises*, decidiu-se por alterar as dimensões dos mesmos, mantendo o mesmo sombreamento, resguardando a proteção no horário de funcionamento. Os dispositivos que, inicialmente eram projetados com lâminas de 15 cm de largura, foram substituídos por anteparos mais largos. Assim, foi possível diminuir a quantidade de placas e, conseqüentemente, os dados na simulação.

### 4.2 ANÁLISE GERAL DO CONSUMO ENERGÉTICO COM BASE NO RTQ-C

De acordo com o RTQ-C, somente 33 dos 106 modelos seriam classificados como nível A (Gráfico 15 e 16). Em linhas gerais, os edifícios menos consumidores de energia são aqueles cujas aberturas são pequenas não protegidas ou os projetados com generosas aberturas protegidas com *brise* solar.

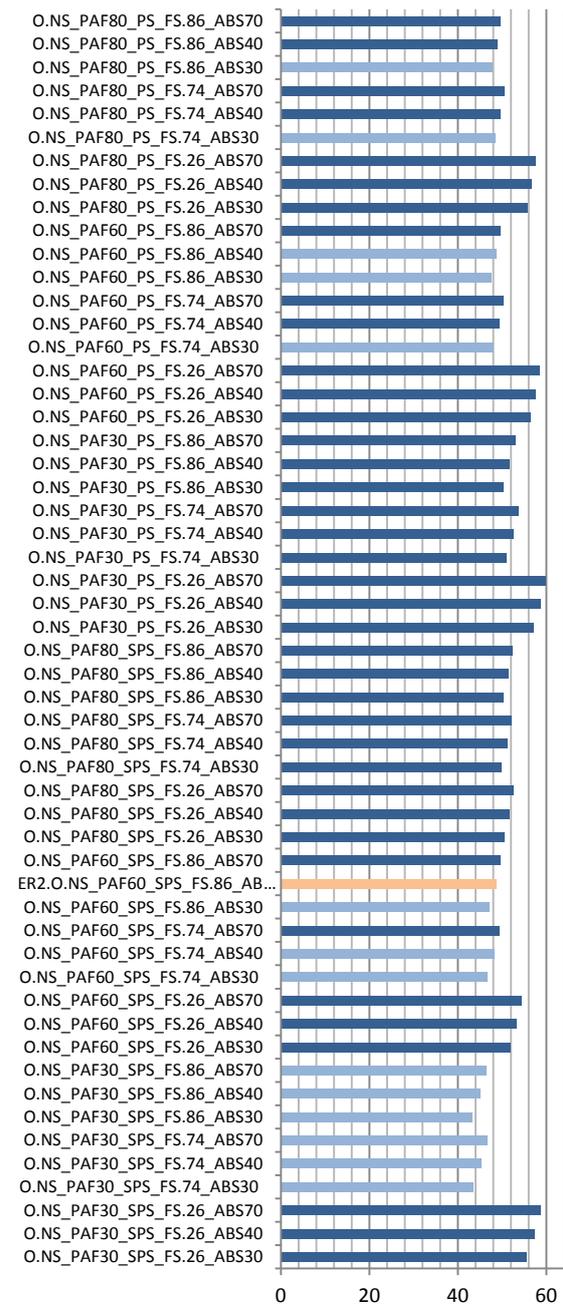


Gráfico 15 – Consumo energético dos edifícios voltados para N-S.

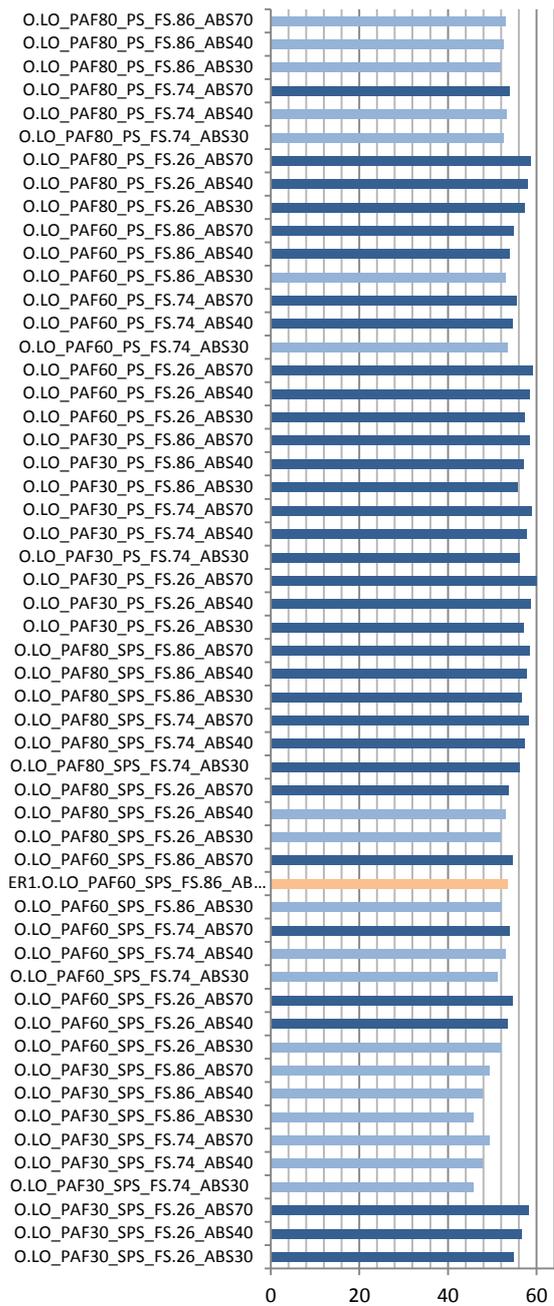


Gráfico 16 – Consumo energético dos edifícios voltados para L-O.

Consumo acima do Ed. Ref    Consumo do Ed. Ref    Consumo igual ou abaixo do Ed. Ref

Destaca-se que, dos 33 edifícios de baixo consumo energético, apenas 12 possuem proteção externa. Esse resultado sugere que os brises simulados não foram adequadamente planejados, já que esses dispositivos, quando eficientes, reduzem consideravelmente o consumo energético final como efeito da minimização da carga térmica. Os Gráficos 17 e 18 demonstram que, de fato, há um controle térmico, porém, em contrapartida, há um

aumento significativo com a iluminação quando são inseridos *brises* nos modelos. Esse elevado consumo reflete o bloqueio de iluminação natural provocado pelo *brise* e sugere uma análise mais detalhada do comportamento do mesmo.

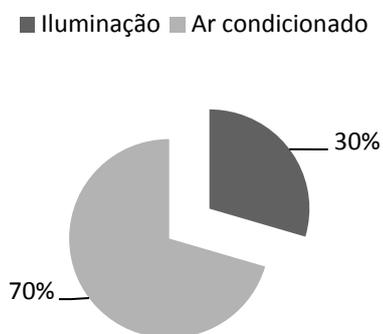


Gráfico 17 – Composição do consumo energético de edifícios projetados **sem brise** externo.

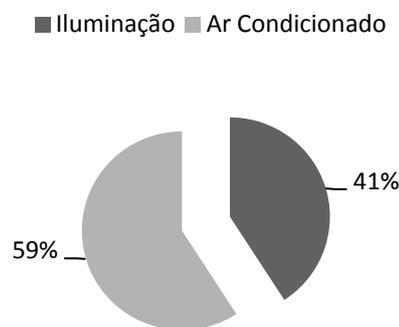


Gráfico 18 – Composição do consumo energético de edifícios projetados **com brise** externo.

Já outros 21 modelos classificados como nível A, projetados sem *brise*, têm garantido o baixo consumo energético, mas não, necessariamente, o conforto visual, já que a incidência direta da luz solar no interior das edificações é fonte potencial de ofuscamento<sup>10</sup>. A falta de controle da incidência solar direta provoca o efeito observado no Gráfico 19, no qual o dispêndio energético com ar condicionado é, em grande parte, muito maior do que aquele destinado para a iluminação, e esse dispêndio é potencializado com o aumento do PAF.

<sup>10</sup> Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2004, p. 47) “quando o processo de adaptação não transcorre normalmente devido a uma variação muito grande da iluminação e/ou a uma velocidade muito grande, experimenta-se uma perturbação, desconforto ou até perda na visibilidade, que é chamada ofuscamento”.

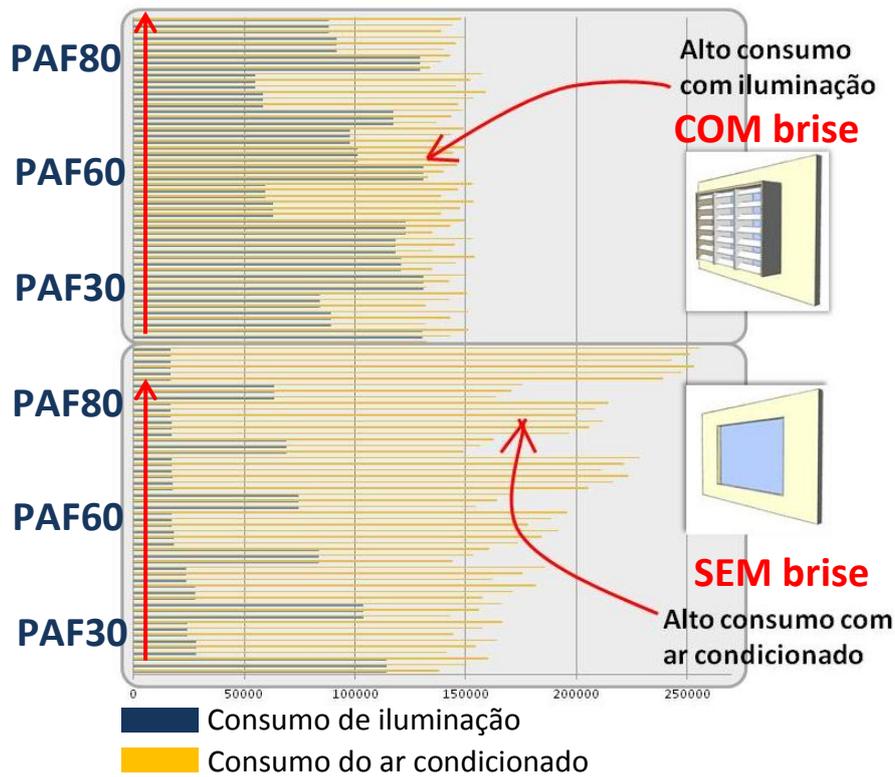


Gráfico 19 – Comportamento do consumo energético de edifícios com e sem brise.

O reduzido gasto com luz artificial indica também o planejamento de sistema de iluminação mais eficiente que, projetado em três passos, é capaz de controlar a luz artificial de modo a complementar a quantidade de *lux* necessária para o cumprimento das atividades, esse sistema é calibrado com base em 3 níveis de iluminação (Figura 16).

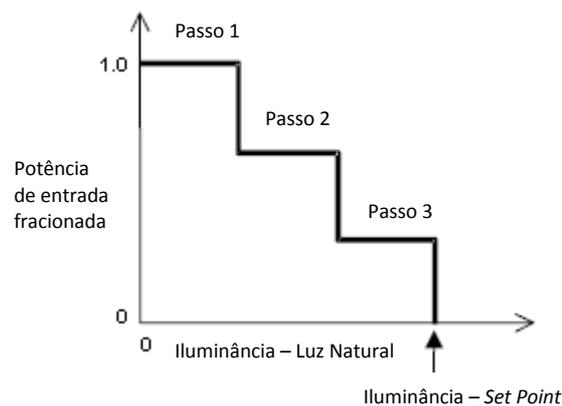


Figura 16 - Controle de iluminação em 3 passos. Fonte: elaborado a partir de Venancio [200-].

Essa análise preliminar aponta duas questões a serem investigadas: uma está relacionada com o *brise* utilizado e a outra com o sistema de iluminação.

### 4.3 TESTES INVESTIGATIVOS

Como os principais questionamentos definidos na pesquisa estão vinculados às trocas decorrentes das superfícies translúcidas, optou-se por fazer testes nos grupos com as maiores aberturas e voltados para a orientação Leste-Oeste, já que esses modelos consumiram, em geral, 6% a mais de energia.

O primeiro teste investigativo examinou o desempenho de um dispositivo ainda mais eficiente, ou seja, os dispositivos projetados para bloquearem toda incidência solar foram substituídos por um único modelo de lâminas horizontais com o ângulo horizontal de sombreamento de 25° como recomenda do RTQ-C (Gráfico 20).

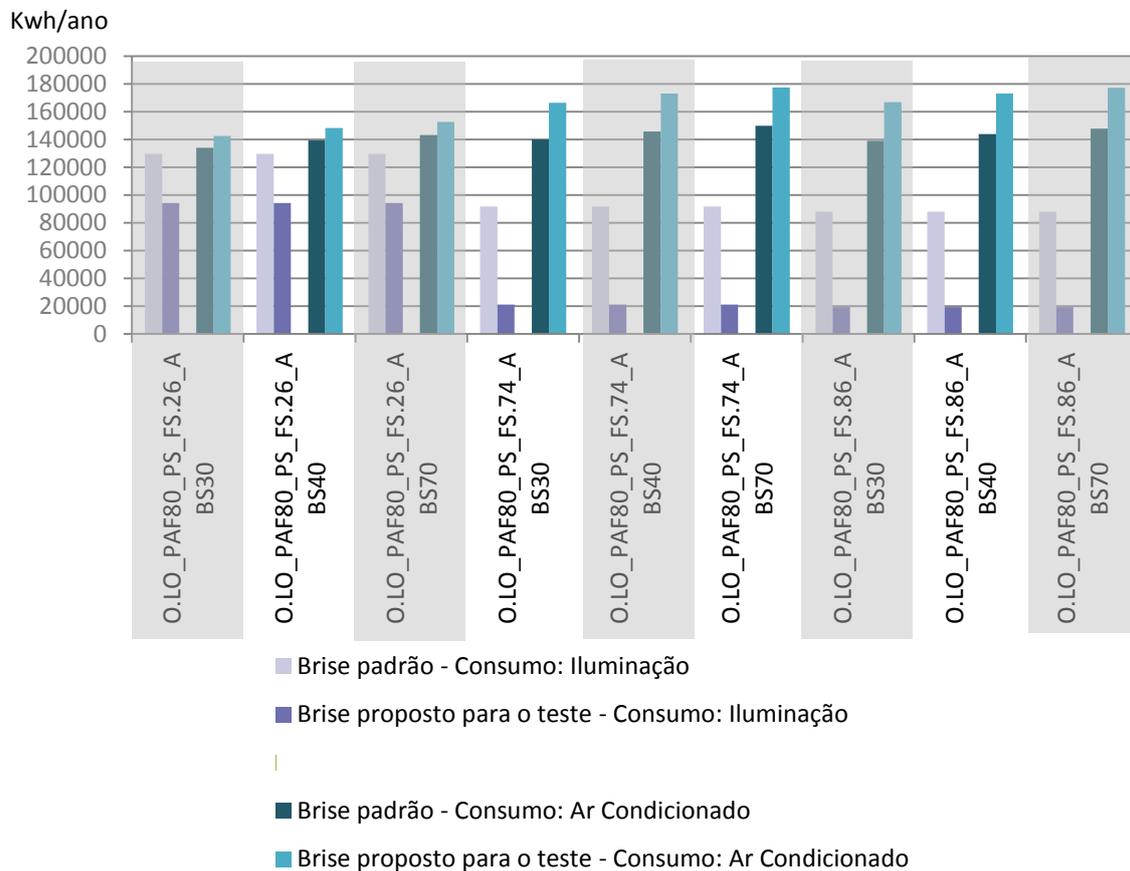


Gráfico 20 – Gráfico da alteração do consumo no teste do brise.

Percebe-se que o novo brise tem uma ação positiva na redução do consumo, pois, ainda que permita um incremento no dispêndio com ar condicionado, diminui consideravelmente o

consumo com a iluminação (Gráfico 20), principalmente em modelos com alto Fator Solar – até 78% a menos –, chegando a uma economia total de 11% para esse grupo (Tabela 10).

Tabela 10 – Porcentagens de economia e ou incremento no consumo no teste do *brise*.

Modelos	Taxa de redução ou incremento no consumo energético com a substituição do <i>brise</i>			Economia de energia KWh - ano
	Iluminação	Ar Condicionado	Total	
O.LO_PAF80_PS_FS.26_ABS30	- 27%	+6%	-7%	-26.856,15
O.LO_PAF80_PS_FS.26_ABS40	-27%	+6%	-7%	-26.353,95
O.LO_PAF80_PS_FS.26_ABS70	-27%	+7%	-7%	-25.744,04
O.LO_PAF80_PS_FS.74_ABS30	-77%	+19%	-12%	-44.245,24
O.LO_PAF80_PS_FS.74_ABS40	-77%	+19%	-12%	-43.219,64
O.LO_PAF80_PS_FS.74_ABS70	-77%	+18%	-12%	-43.026,44
O.LO_PAF80_PS_FS.86_ABS30	-78%	+20%	-12%	-40.765,05
O.LO_PAF80_PS_FS.86_ABS40	-78%	+20%	-11%	-39.678,04
O.LO_PAF80_PS_FS.86_ABS70	-78%	+20%	-11%	-39.244,745

O segundo teste consistiu na verificação do impacto causado pelo sistema de iluminação projetado em três passos, sendo esse substituído por controle de apenas um passo (Gráfico 21).

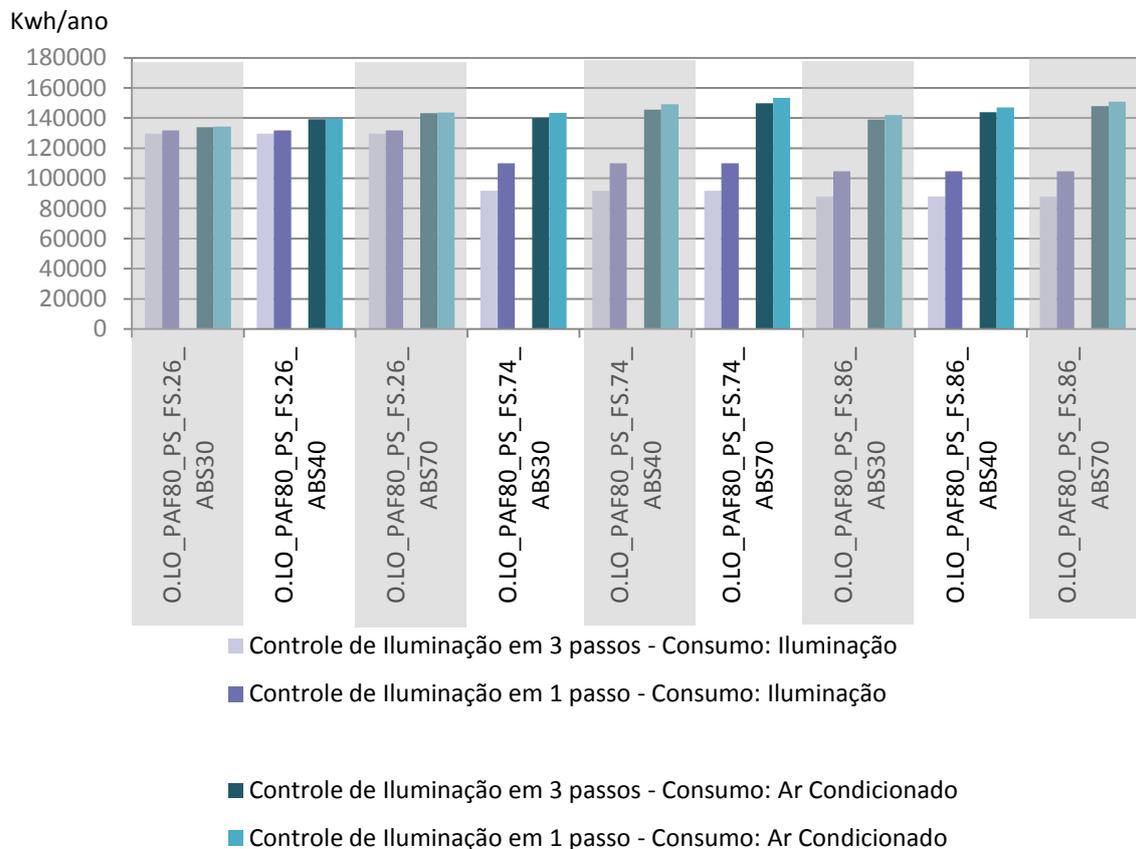


Gráfico 21 – Gráfico da alteração do consumo energético no teste do controle de iluminação nos edifícios protegidos com o *brises*.

Percebe-se que o controle de iluminação de um passo, menos eficiente, acarretou acréscimo no consumo dos edifícios (Tabela 11). O sistema se mostrou mais impactante e efetivo nos modelos projetados com alto FS em decorrência da quantidade de luz natural que consegue alcançar o interior da edificação. Um sistema menos eficiente, com apenas um passo, pode provocar um aumento de até 6% do consumo energético em alguns modelos.

Tabela 11 - Porcentagens de economia e/ou incremento no consumo no teste do controle de iluminação no edifícios com o brise.

Modelos	Taxa de redução ou incremento no consumo energético com a substituição do controle de iluminação de 3 passos para 1 passo			Acréscimo de energia KWh - ano
	Iluminação	Ar Condicionado	Total	
O.LO_PAF80_PS_FS.26_ABS30	+2%	0,3%	+0,7%	+2.729,66
O.LO_PAF80_PS_FS.26_ABS40	+2%	0,3%	+0,7%	+2.745,86
O.LO_PAF80_PS_FS.26_ABS70	+2%	0,3%	+0,7%	+2.735,37
O.LO_PAF80_PS_FS.74_ABS30	+20%	2,5%	+6,1%	+2.1730,18
O.LO_PAF80_PS_FS.74_ABS40	+20%	2,5%	+6,1%	+21.838,68
O.LO_PAF80_PS_FS.74_ABS70	+20%	2,4%	+6,0%	+21.835,18
O.LO_PAF80_PS_FS.86_ABS30	+19%	2,2%	+5,6%	+19.642,89
O.LO_PAF80_PS_FS.86_ABS40	+19%	2,2%	+5,6%	+19.717,90
O.LO_PAF80_PS_FS.86_ABS70	+19%	2,1%	+5,5%	+19.723,30

O mesmo teste de controle de iluminação foi feito no grupo com a mesma configuração do anterior, exceto pela ausência do *brise* (Gráfico 22).

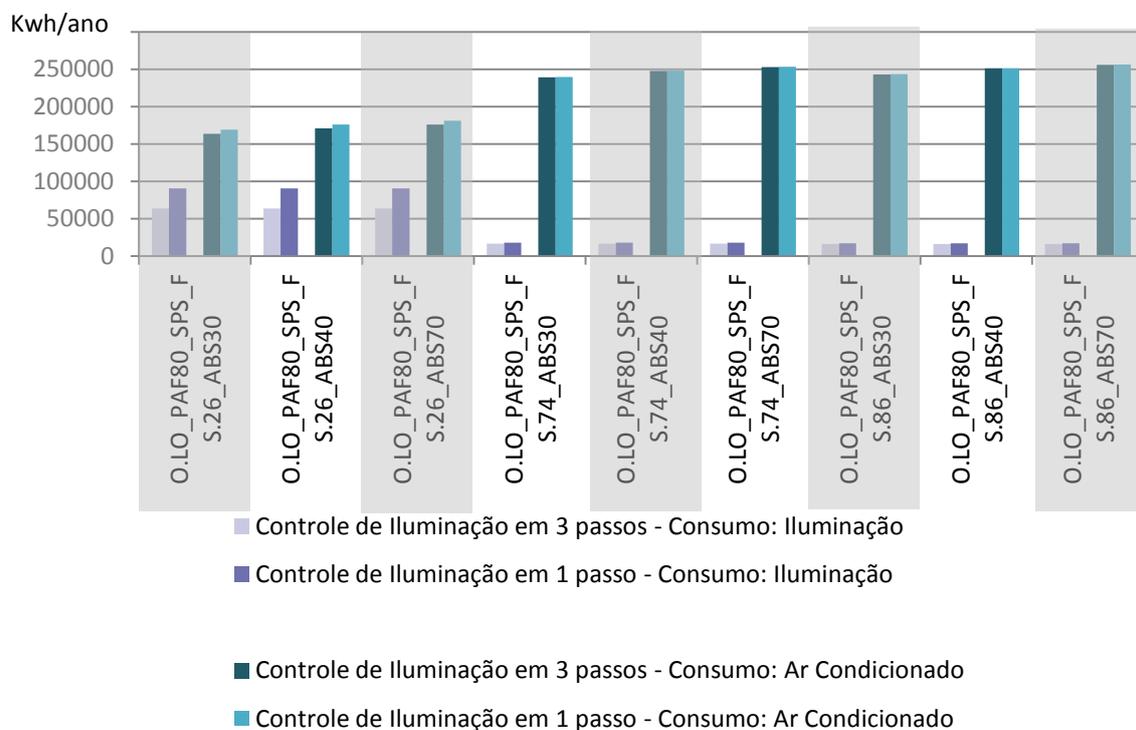


Gráfico 22 - Gráfico da alteração do consumo energético no teste do controle de iluminação nos edifícios sem os brises.

A influência da envoltória no Consumo Energético em Edifícios Artificialmente Climatizados na Cidade de Vitória ES

Verificou-se com o teste que, diferente do grupo anterior, o controle de iluminação foi mais impactante nos com FS baixo, chegando a um acréscimo de até 9,2% do consumo final (Tabela 12). A significativa diferença dos percentuais encontrados nos dois testes indica o potencial de impacto do controle de iluminação nos resultados encontrados, sendo necessária uma futura investigação mais detalhada.

Tabela 12 - Percentagens de economia e ou incremento no consumo no teste do controle de iluminação nos edifícios protegidos com os *brises*.

Modelos	Taxa de redução ou incremento no consumo energético com a substituição do controle de iluminação de 3 passos para 1 passo			Acréscimo de energia KWh - ano
	Iluminação	Ar Condicionado	Total	
O.LO_PAF80_SPS_FS.26_ABS30	+42%	3,2%	+9,2%	+32.104,54
O.LO_PAF80_SPS_FS.26_ABS40	+42%	3,2%	+9,0%	+32.181,45
O.LO_PAF80_SPS_FS.26_ABS70	+42%	3,1%	+8,9%	+32.255,85
O.LO_PAF80_SPS_FS.74_ABS30	+7%	0,1%	+0,4%	+1.393,17
O.LO_PAF80_SPS_FS.74_ABS40	+7%	0,1%	+0,4%	+1.393,87
O.LO_PAF80_SPS_FS.74_ABS70	+7%	0,1%	+0,4%	+1.387,77
O.LO_PAF80_SPS_FS.86_ABS30	+5%	0,1%	+0,3%	+1.048,05
O.LO_PAF80_SPS_FS.86_ABS40	+5%	0,1%	+0,3%	+1.048,95
O.LO_PAF80_SPS_FS.86_ABS70	+5%	0,1%	+0,3%	+1.048,65

## 4.4 IMPACTOS DAS VARIÁVEIS NO CONSUMO ENERGÉTICO

Constatada a significativa influência dos *brises* projetados, optou-se por isolar os dados de saída dos modelos sem a proteção daqueles protegidos, através de gráficos distintos, a fim de não mascarar as análises dos resultados.

### 4.4.1 Percentual de abertura na fachada

#### 4.4.1.1 Impacto geral da alteração do PAF

Nos modelos sem proteção solar, a alteração do percentual de abertura na fachada chegou a um incremento de 7,6% no total do consumo, do menor para o maior PAF. Enquanto a iluminação teve uma redução de 38%, o dispêndio energético com ar condicionado aumentou em 29% (Gráfico 23).

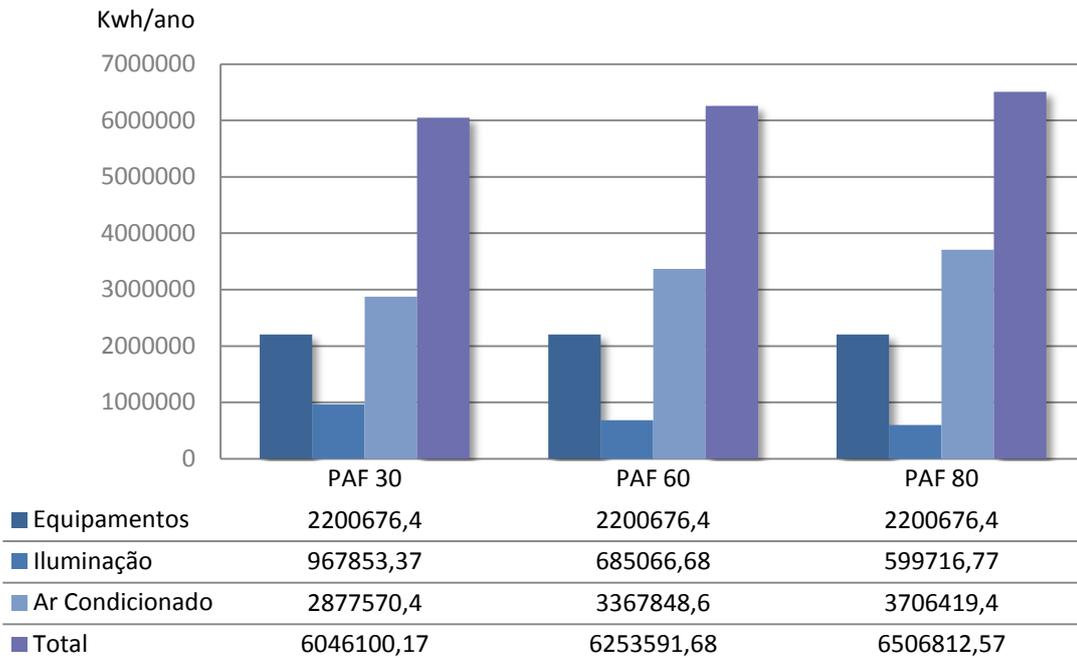


Gráfico 23 – Consumo total dos modelos **sem brises** organizados pelo PAF.

Já nas situações planejadas com os *brises*, identificou-se uma redução de 5,1% no consumo final. Assim como nas situações sem proteção, houve uma redução no consumo com iluminação, porém numa escala menor, na ordem de 20% do PAF 30 para o PAF 80, e um aumento discreto no gasto energético com condicionamento do ar, sendo este apenas de 2%, conforme o Gráfico 24.

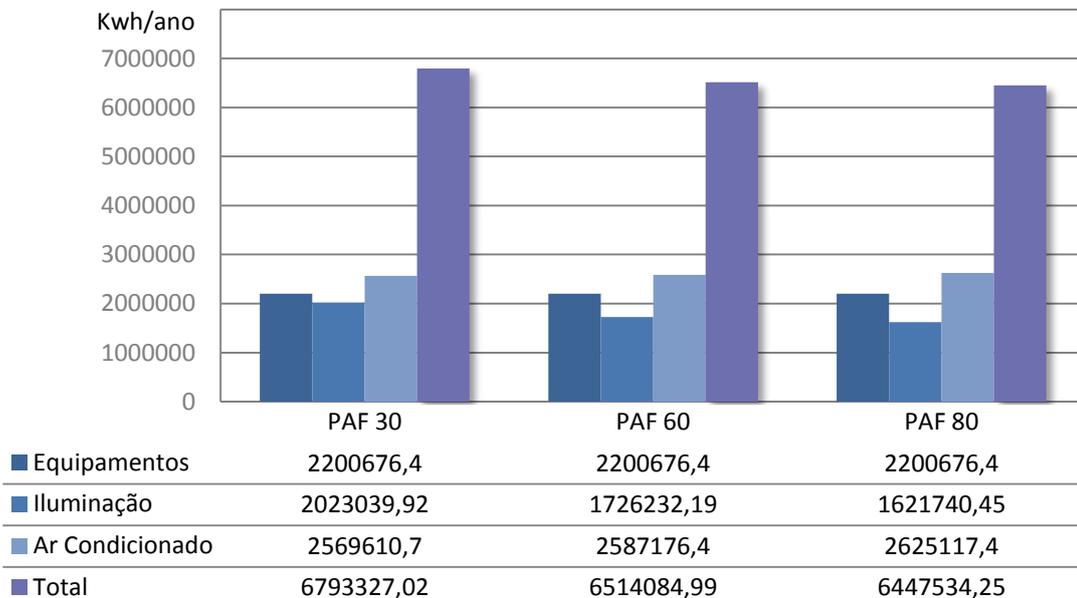


Gráfico 24 - Consumo total dos modelos **com brises** organizados pelo PAF.

#### 4.4.1.2 Impacto individual da alteração do PAF

O Gráfico 25 demonstra o comportamento do consumo energético dos edifícios projetados sem *brises*. Cada grupo, destacado em amarelo, reúne três modelos cujos dados de orientação, fator solar e absortância são idênticos, sendo alterados apenas os valores do PAF, são eles: 30, 60 e 80, respectivamente.

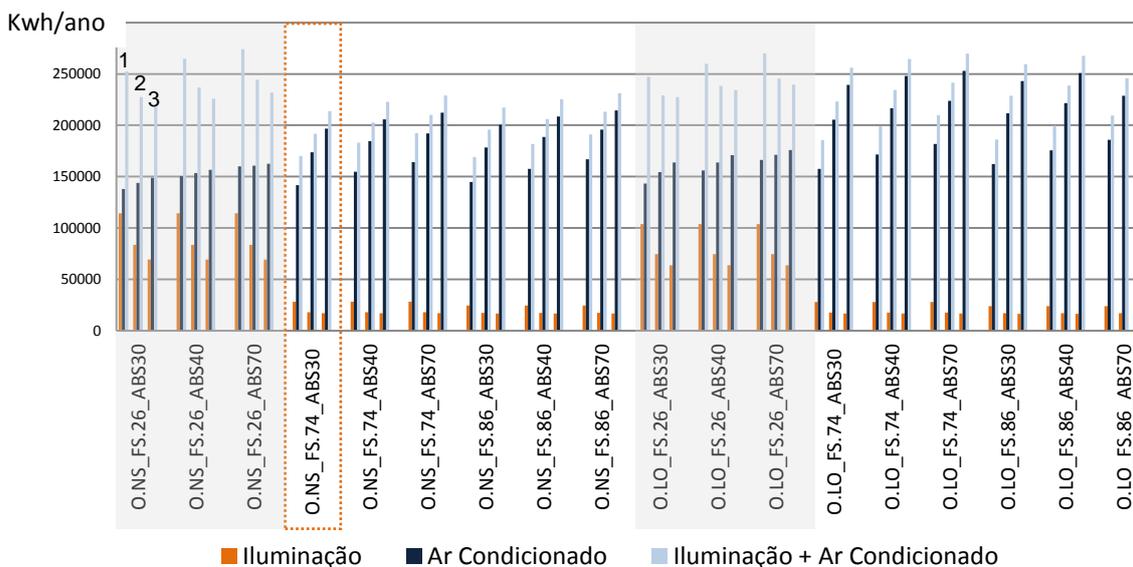


Gráfico 25 – Gráfico do comportamento do consumo em edifícios **sem brises** frente a variação do PAF, sendo em (1) PAF30; em (2) PAF60; e em (3) PAF80.

Dos dezoito grupos, doze apresentam um comportamento semelhante, em que o consumo total aumenta com a ampliação do PAF. Esses mesmos grupos são similares quanto à natureza do dispêndio energético, sendo este destinado em grande parte ao condicionamento do ar e uma pequena parcela à iluminação do ambiente. Os outros seis grupos restantes – demarcado em cinza no Gráfico 25 –, que têm em comum um FS baixo para seus vidros, apresentam um decréscimo no consumo energético com o aumento do PAF. Percebe-se que, em geral, o uso desses vidros aumentam o gasto com iluminação e controlam a entrada de carga térmica a ponto do PAF não interferir com a mesma força no consumo com o ar condicionado. Os modelos mais consumidores são os de menor PAF para as situações com FS baixo para qualquer orientação e os de maior PAF na orientação Leste-Oeste.

O Gráfico 26 explana o gasto energético dos mesmos edifícios já analisados, porém com o acréscimo do *brise* externo. É perceptível que a inserção desse dispositivo aumentou

consideravelmente o consumo com a iluminação, chegando, em alguns casos, a um valor de consumo próximo ao do ar condicionado.

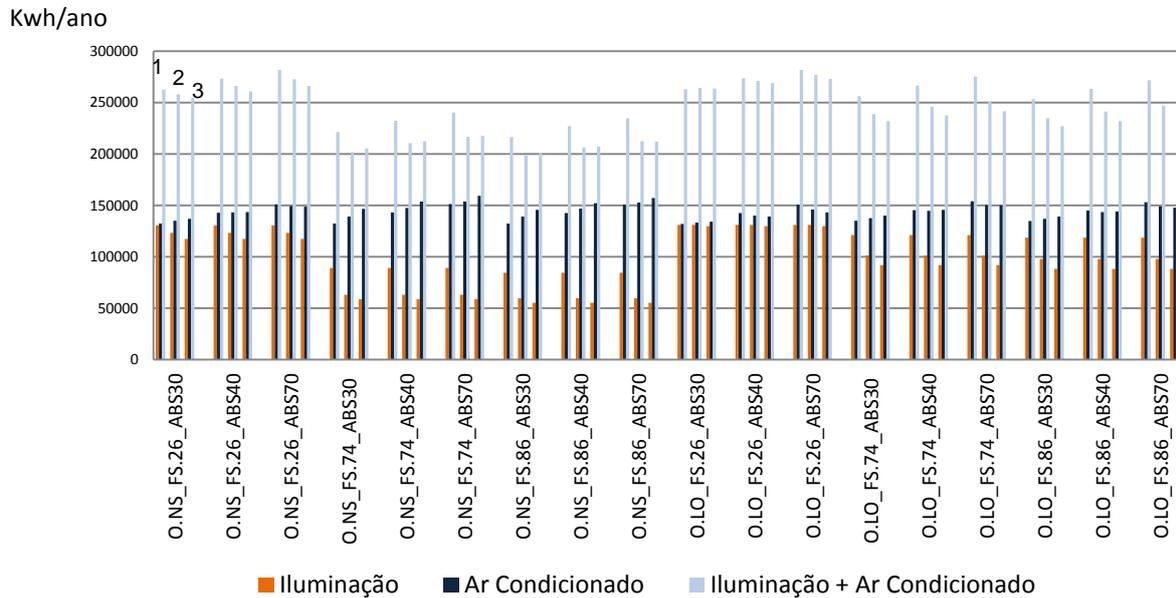


Gráfico 26 - Gráfico do comportamento do consumo em edifícios **com brises** frente a variação do PAF, sendo em (1) PAF30; em (2) PAF60; e em (3) PAF80.

Esse, por sua vez, apresenta-se com similaridade entre os modelos sugerindo que a alteração do PAF pouco altera o consumo para o controle da carga térmica frente ao sombreamento projetado para as aberturas. A soma desse fato ao incremento na participação da iluminação tem como consequência, na maioria das vezes, a redução do gasto energético final com o aumento das aberturas. Os edifícios mais consumidores são aqueles projetados com FS baixo, para as duas orientações e para os três percentuais de abertura analisados, e os de PAF 30 voltados para Leste-Oeste.

#### 4.4.1.3 Percentual do incremento no consumo com a alteração do PAF

O Gráfico 27 demonstra que, na maioria das vezes, à medida que se aumenta o PAF, aumenta o consumo energético dos edifícios quando estão sem proteção solar. A exceção está nos modelos com o FS baixo (26), em que ocorre justamente o contrário: os maiores percentuais têm uma redução no consumo. É possível identificar também que o maior impacto da alteração de PAF está nos modelos orientados a Leste-Oeste, chegando a uma alteração de 24% para um modelo de baixa absorvância (30), Fator Solar alto (86).

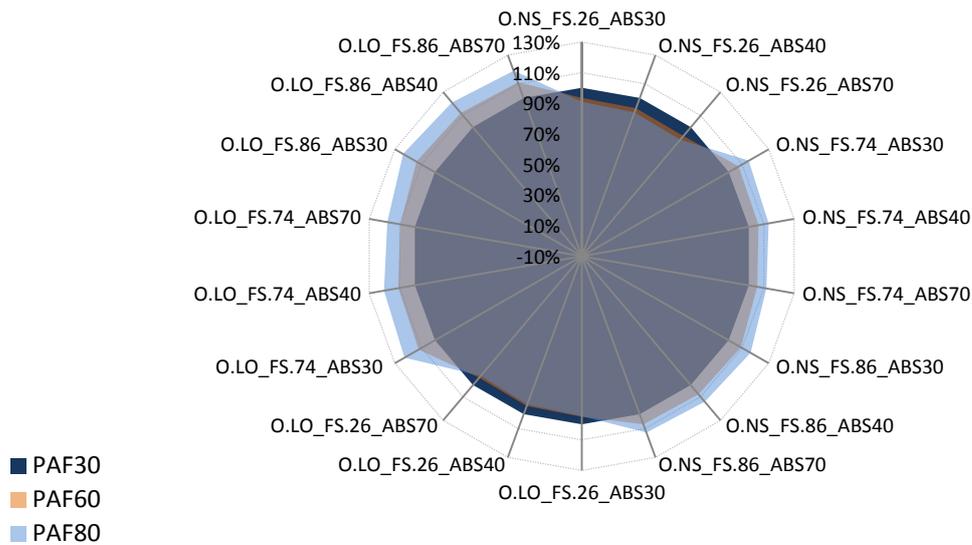


Gráfico 27 – Percentual de incremento no consumo energético com a alteração do PAF em modelos **sem brises** externo.

Nos modelos com proteção solar externa, o aumento do PAF não foi negativo, isso significa que, na situação proposta, a ampliação das aberturas diminuiu ou não alterou o consumo energético do edifício quando comparado um modelo com as mesmas características, porém sem brise. O Gráfico 28 demonstra ainda que os edifícios voltados para Leste-Oeste são mais influenciados pela alteração do PAF do que os orientados para outra direção.

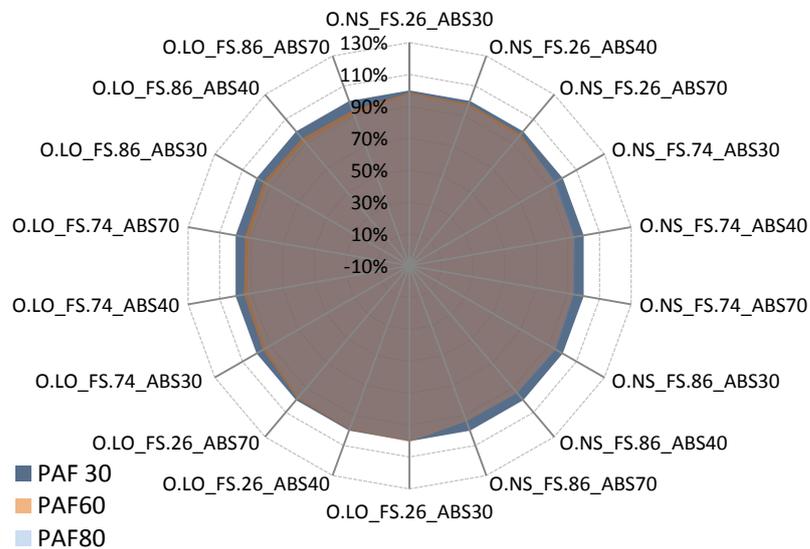


Gráfico 28 - Percentual de incremento no consumo energético com a alteração do PAF em modelos **com brises** externos.

## 4.4.2 Orientação

### 4.4.2.1 Impacto geral da alteração da orientação

Em situações sem *brises*, a alteração da orientação do edifício de Norte-Sul para Leste-Oeste acarretou incremento de, aproximadamente, 6% no total de consumo energético. Esse aumento é em função da carga térmica, pois o gasto de energia com o condicionamento do ambiente aumentou em 13%, enquanto o dispêndio com a iluminação diminuiu na ordem de 3% (Gráfico 29).

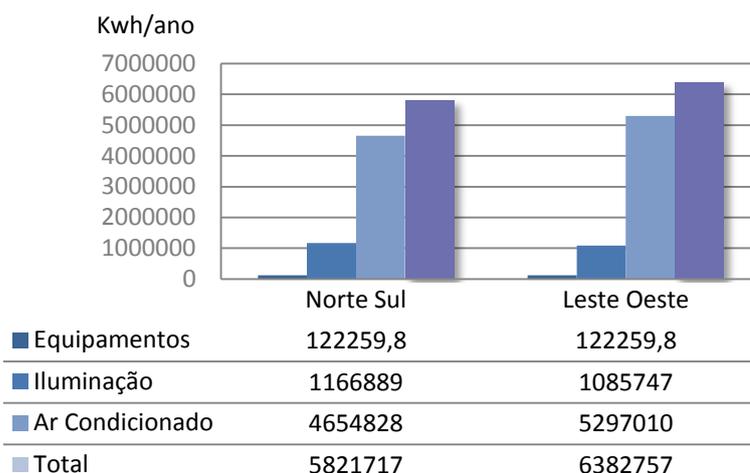


Gráfico 29 - Consumo total dos modelos **sem brises** de acordo com a orientação dos edifícios.

Já os modelos com a proteção solar, que também tiveram um acréscimo de 6% no consumo final, apresentaram um comportamento diferente quanto à iluminação e o condicionamento do ar (Gráfico 30). Os edifícios voltados para Leste-Oeste apresentam um aumento significativo no consumo com iluminação, na ordem de 29%, e uma redução de 2% da carga térmica.

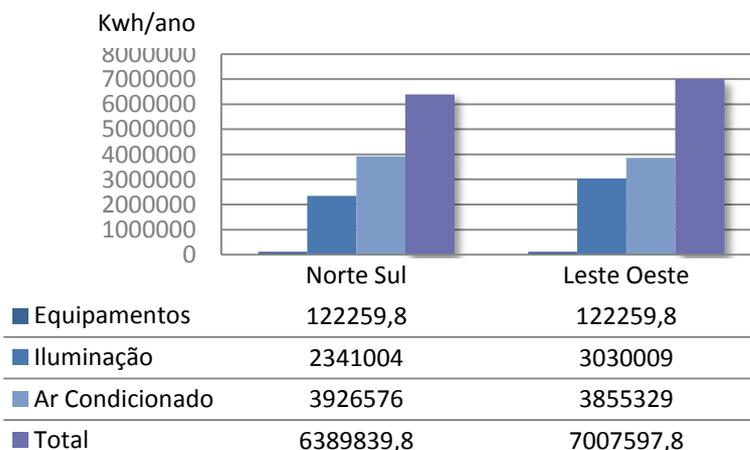


Gráfico 30 - Consumo total dos modelos **com brises** de acordo com a orientação dos edifícios.

É importante ressaltar que esses resultados recebem influência do tipo de *brise*, já que esses foram projetados segundo a máscara solar em que cada fachada recebe um tratamento específico. Os protetores solares das aberturas localizadas a Leste-Oeste tendem a gerar uma perda significativa da iluminação natural e, por isso, apresentam um valor tão discrepante de consumo para esse fim.

#### 4.4.2.2 Impacto individual da alteração da orientação

O comportamento dos modelos frente à alteração desta variável é bem heterogêneo. Em apenas três modelos a orientação Leste-Oeste é positiva no consumo, ou seja, apresenta uma taxa de consumo menor do que quando voltado para Norte-Sul, de acordo com o Gráfico 31. Além da orientação, esses edifícios têm em comum o PAF30 e o Fator Solar baixo, sendo essa uma situação em que as trocas térmicas relativas às aberturas têm menos impacto. Ainda que haja um aumento discreto no consumo com a climatização, percebe-se, nesses casos, que a redução com iluminação tem um papel relevante já que seu dispêndio energético está próximo daquele destinado ao ar condicionado.

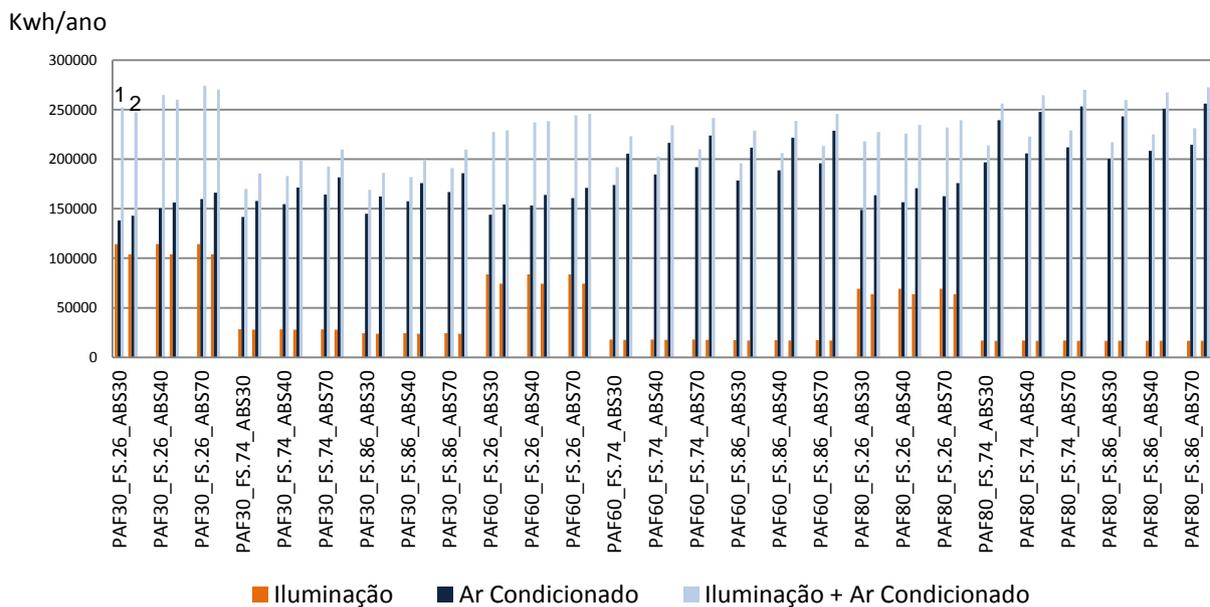


Gráfico 31 - Gráfico do comportamento do consumo em edifícios **sem brises** em relação à variação na orientação, sendo em (1) O.NS; e em (2) O.LO.

No demais casos, é a orientação Norte-Sul que se apresenta como a mais positiva para a redução do consumo. Como os edifícios projetados com Fator Solar alto possuem um gasto muito contido com a iluminação artificial, seu consumo final é consequência, quase total, do

cenário e da taxa de energia destinada ao condicionamento do ar. Nessas situações, percebe-se que, com o crescimento do PAF, aumenta-se não só o consumo final, mas também o impacto da alteração da orientação.

Nos modelos planejados com *brises*, ainda que haja uma influência maior do consumo com a iluminação, verifica-se um comportamento parecido com os edifícios analisados anteriormente, em que, exceto nos exemplares projetados com FS 26, a alteração da orientação apresenta-se com grande impacto no dispêndio energético final (Gráfico 32).

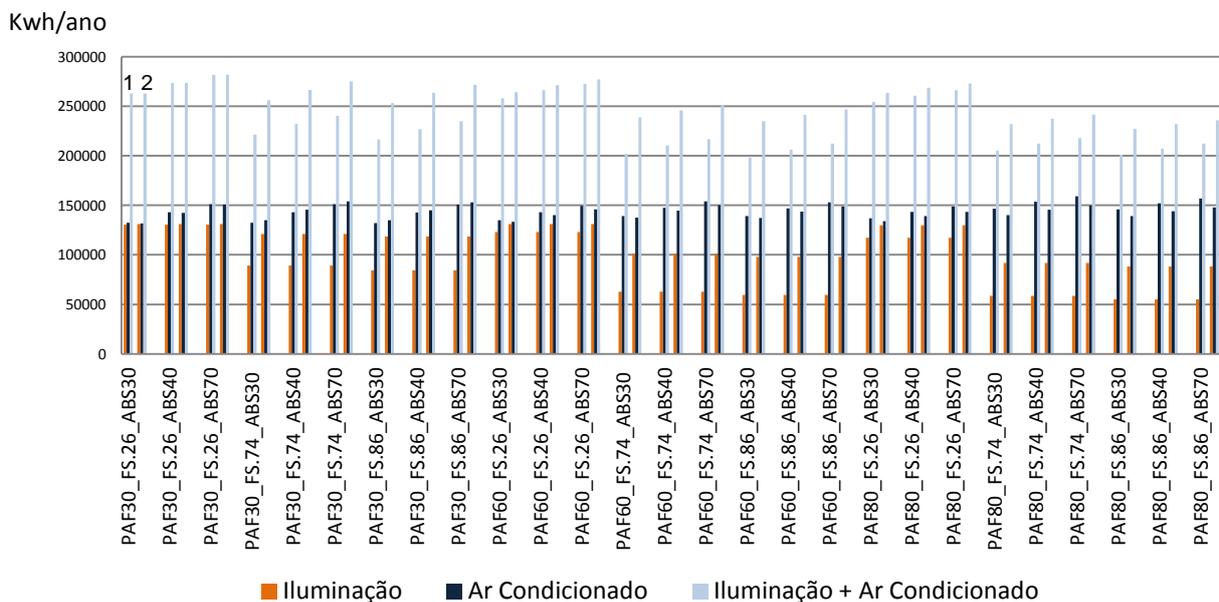


Gráfico 32 - Gráfico do comportamento do consumo em edifícios **com brises** de acordo com a variação da orientação, sendo em (1) O.NS; e em (2) O.LO.

O Gráfico 32 demonstra, ainda, que há um controle do consumo com o ar condicionado, por haver similaridade nos valores dos edifícios, sendo a alteração da orientação pouco influente, na maioria dos casos. No entanto, ainda que discretamente, percebe-se que nos modelos com amplo PAF – 60 e 80 – a orientação Leste-Oeste é positiva em relação à Norte-Sul, quando se trata do dispêndio com condicionamento de ar.

### 4.4.2.3 Percentual do incremento no consumo de acordo com a alteração da orientação

O Gráfico 33 expressa o percentual de incremento no consumo de cada edifício quando é alterada apenas a orientação. Sua análise indica que a alteração é mais influente nos modelos com elevados percentuais de abertura, chegando a 13% de aumento no modelo com PAF80, fator solar 86 (alto) e absortância baixa, situação em que há pouca influência das superfícies opacas. Em geral, os edifícios voltados para Leste-Oeste têm um consumo maior do que aqueles projetados para Norte-Sul. Outro diagnóstico relevante é o impacto do Fator Solar, já que nos casos em que esse valor é baixo, nos vidros reflexivos, quase não há alteração no consumo quando é variada a orientação.

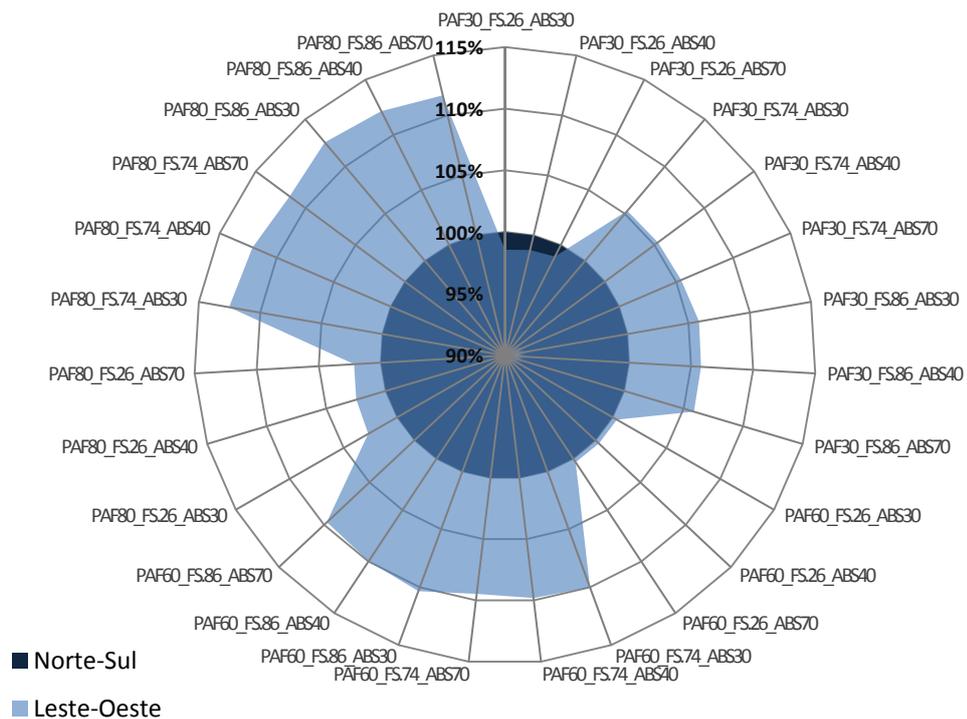


Gráfico 33 - Percentual de incremento no consumo energético com a alteração da orientação em modelos **sem brises** externo.

### 4.4.3 Fator Solar

#### 4.4.3.1 Impacto geral da alteração do FS

A alteração do Fator solar, nos modelos sem *brises* provocou uma redução de 7% no total do consumo quando o FS passou de 26, para 74 e 86. Enquanto o dispêndio com ar condicionado aumentou até 26%, o gasto com a iluminação diminuiu em 77% (Gráfico 34).

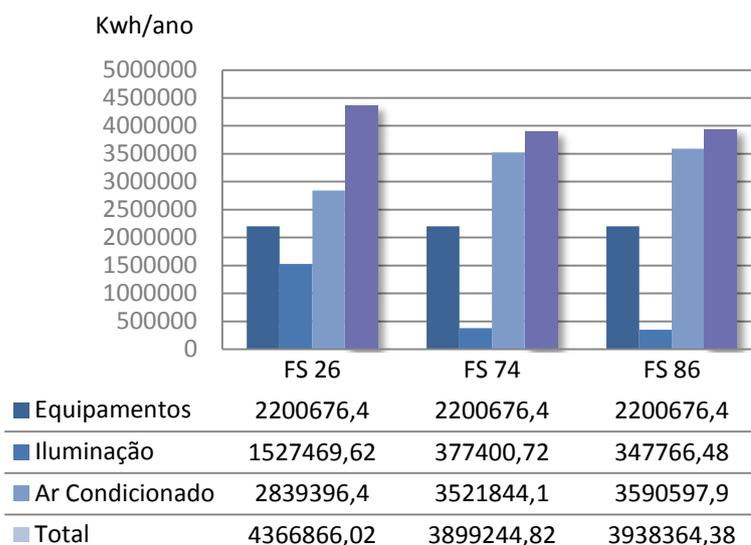


Gráfico 34 - Consumo total dos modelos **sem brises** de acordo com o Fator Solar.

No grupo dos modelos projetados com *brises* externos, a redução é um pouco maior, com a taxa de redução de 10% do consumo final, com a alteração do FS de 26 para 86, conforme Gráfico 35. Isso se deve ao pouco incremento no dispêndio com o condicionamento do ar, que teve como consequência da mudança do FS citada, um incremento discreto de 3%. Já a iluminação teve uma redução de 44% para o mesmo caso.

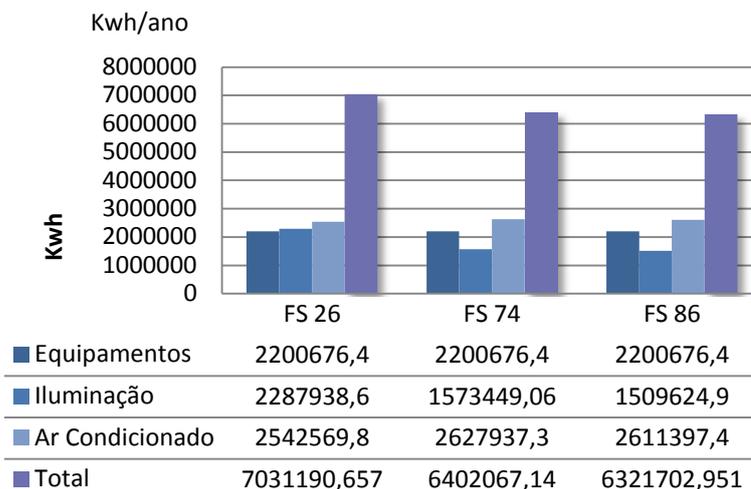


Gráfico 35 - Consumo total dos modelos **com brises** organizados de acordo com o Fator Solar.

### 4.4.3.2 Impacto individual da alteração FS

Analisando o Gráfico 36, que demonstra o comportamento dos modelos sem *brises*, verifica-se que dos 18 casos, 15 apresentam uma redução no consumo energético final com o aumento do Fator Solar. É perceptível também que, quanto menor o PAF, maior é o impacto da alteração dessa propriedade do vidro. Num dos casos, codificado como O.NS\_PAF30\_ABS30, a modificação do FS26 para 86 acarretou em uma redução de 22% do consumo final. Nos outros três casos, que tem em comum a orientação L-O e o PAF80, o aumento do Fator Solar gera um aumento, ainda que discreto – máximo de 9% –, no gasto energético final.

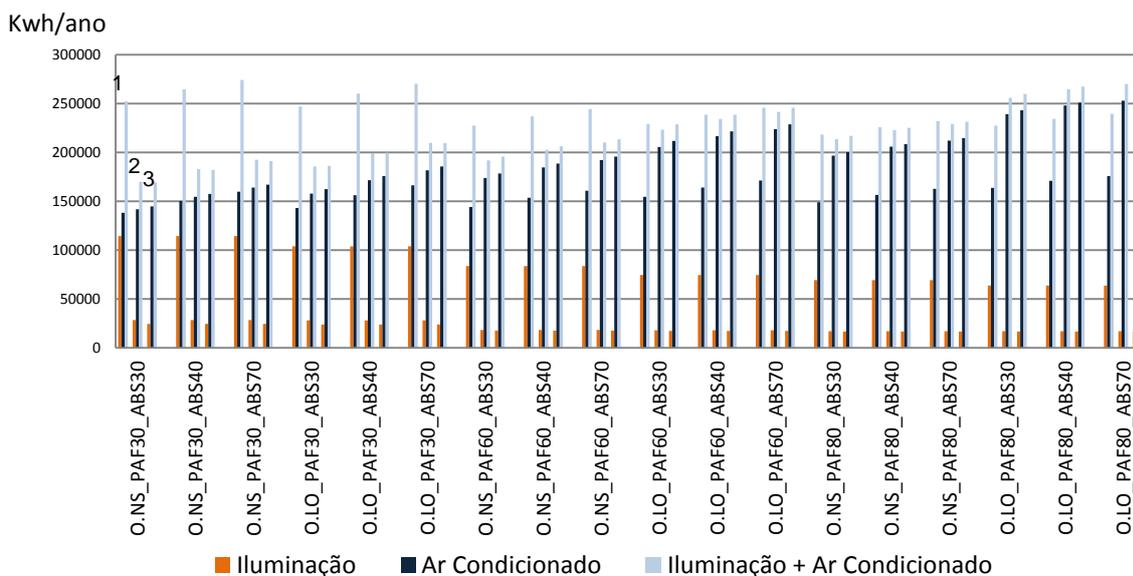


Gráfico 36 - Gráfico do comportamento do consumo em edifícios **sem brises** de acordo com a variação do FS, sendo em (1) FS26; em (2) FS74; e em (3) FS86.

Se por um lado o aumento do PAF diminui o impacto do FS na iluminação, por outro, o crescimento das superfícies envidraçadas aumenta, consideravelmente o impacto no consumo destinado ao condicionamento do ar. Essas compensações entre os pesos e origem dos consumos resultam no comportamento heterogêneo da variável. No geral, percebe-se que há uma influência significativa da variável, seja ela positiva ou negativa (Gráfico 37).

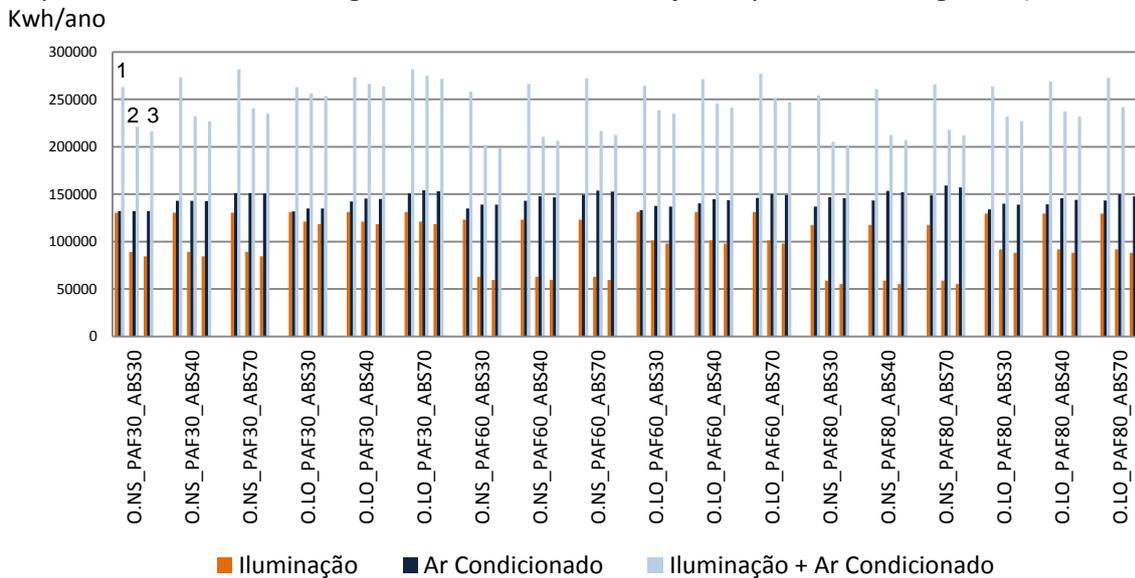


Gráfico 37 - Gráfico do comportamento do consumo em edifícios **com brises** de acordo com a variação do FS, sendo em (1) FS26; em (2) FS74 3; e em (3) FS86.

Já nos modelos projetados com *brises* (Gráfico 37), percebe-se que, em todos os grupos, o aumento do FS acarretou uma redução no consumo energético final. Nas situações com PAF30, verifica-se uma alteração significativa do impacto do Fator Solar de acordo com a modificação da orientação, ou seja, os edifícios voltados para Norte-Sul recebem mais influência do tipo de vidro do que aqueles orientados a Leste-Oeste. O mesmo comportamento ocorre nos outros Percentuais de Abertura, no entanto, com um percentual menor.

#### 4.4.3.3 Percentual do incremento no consumo de acordo com a alteração FS

O Gráfico 38, que apresenta o comportamento dos modelos sem *brises*, demonstra que a alteração do FS é mais impactante nos modelos com PAF pequeno e voltados para Norte-Sul. Esse impacto diminui um pouco com a alteração da orientação e continua reduzindo, numa escala decrescente de impacto, com o aumento do PAF. Verifica-se que, nos modelos de PAF 60 com orientação Leste-Oeste e os de PAF80 voltados para Norte-Sul, a alteração do Fator Solar é praticamente nula: não há impactos positivos nem negativos com a modificação.

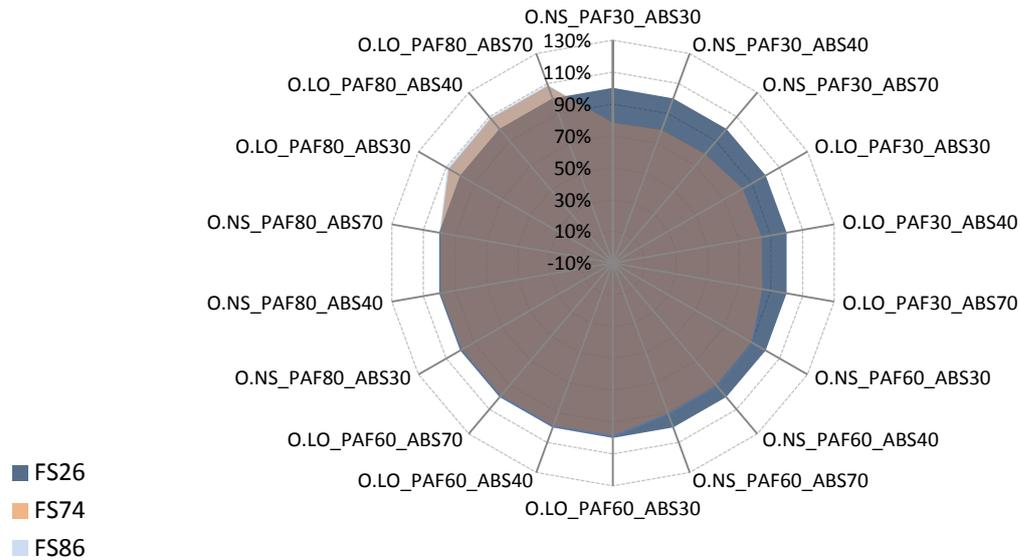


Gráfico 38 - Percentual de incremento no consumo energético com a alteração do FS em modelos **sem brises** externo.

Já nos modelos com *brises*, percebe-se que o FS tem influência maior nos modelos voltados para Norte-Sul, sendo que esse aumenta com o crescimento das aberturas. Já os edifícios com a orientação Leste-Oeste, não recebem influência do Fator Solar quando o PAF é pequeno (Gráfico 39).

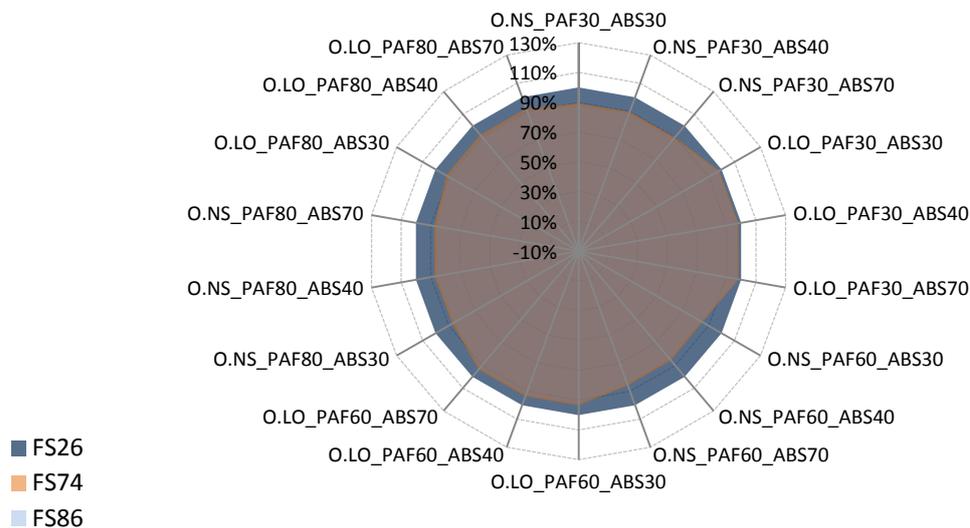


Gráfico 39 - Percentual de incremento no consumo energético com a alteração do FS em modelos **com brises** externos.

#### 4.4.4 Absortância

##### 4.4.4.1 Impacto geral da alteração da absortância

A variação da absortância de 30 para 70, em edifícios sem *brises* externos, chegou a um incremento de 5,3% no total do consumo. Enquanto o consumo de iluminação não sofreu alteração, o dispêndio energético com ar condicionado aumentou em 10% (Gráfico 40).

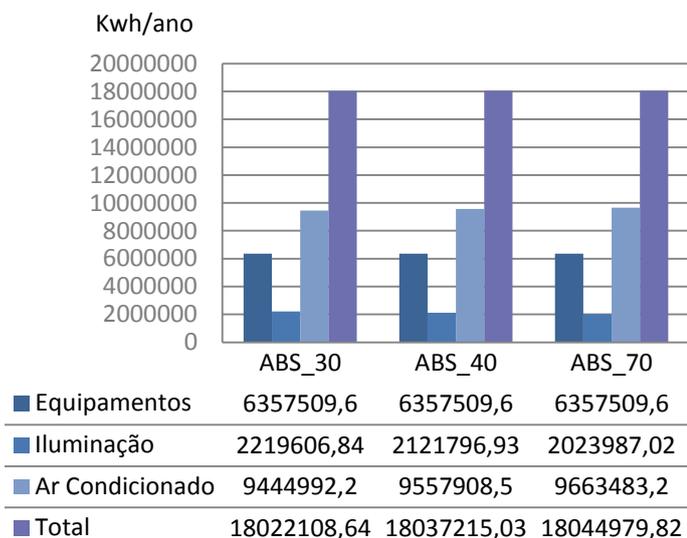


Gráfico 40 - Consumo total dos modelos **sem brises** organizados pela absortância.

Já nos casos planejados com os *brises*, identificou-se incremento de 3,9% no consumo final com o aumento da absortância (Gráfico 41).

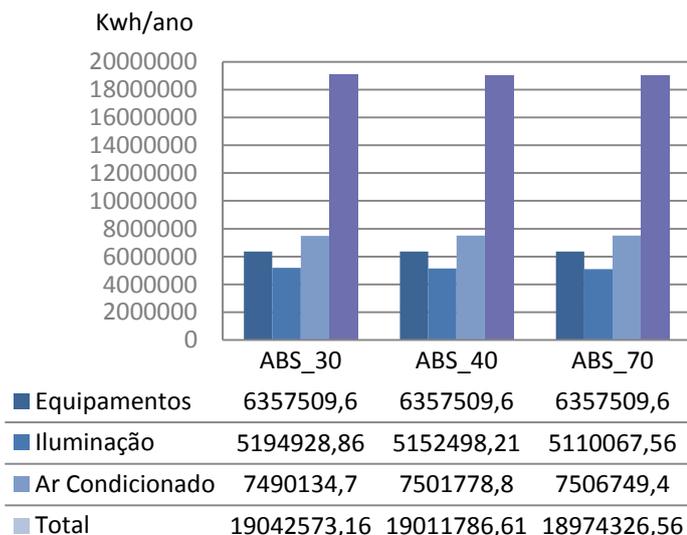


Gráfico 41 - Consumo total dos modelos **com brises** organizados pela absortância.

Ainda que o uso dos *brises* tenha acrescido o consumo com iluminação, o comportamento deste é similar ao dos modelos sem essa proteção, ou seja, não há alteração com a variação da absorvância. O gasto energético com ar condicionado também foi acrescido em 10%.

#### 4.4.4.2 Impacto individual da alteração da absorvância

A variação da absorvância provocou um desempenho similar entre os modelos. Em todos os casos, o aumento dessa variável provocou um incremento no consumo. O Gráfico 42 demonstra que, quanto menor o PAF, maior é o impacto dessa variável, já que amplia-se a área de superfícies opacas, notando-se sempre que comportamento do consumo é similar ao do ar condicionado.

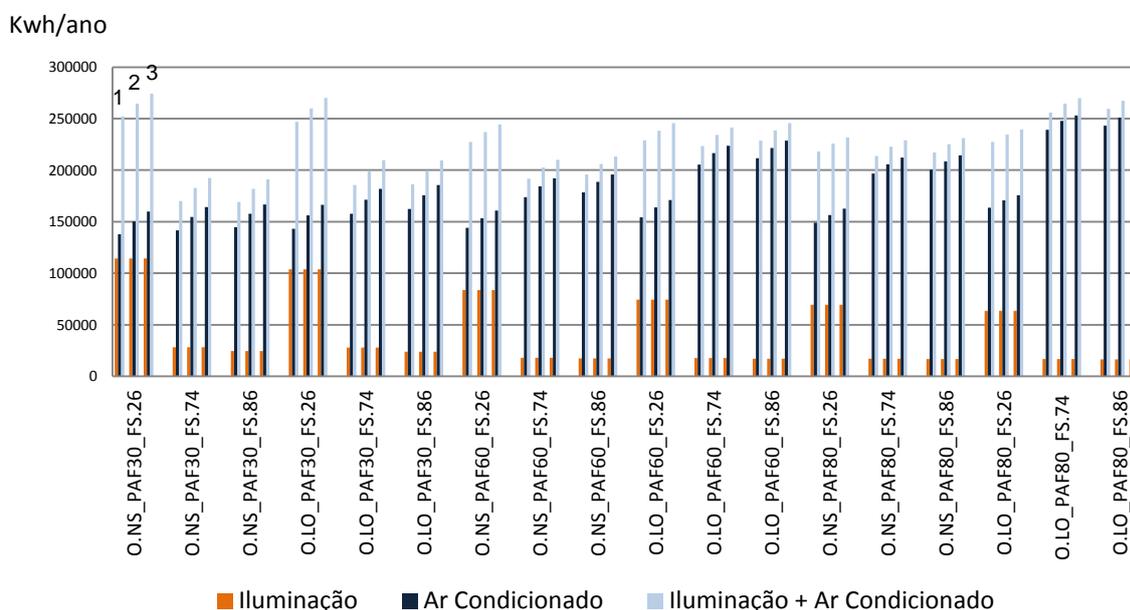


Gráfico 42 - Gráfico do comportamento do consumo em edifícios **sem brises** de acordo com a variação da absorvância, sendo em (1) ABS30; em (2) ABS40; e em (3) ABS70.

Percebe-se, com a análise do Gráfico 43, que o comportamento dos modelos projetados com e sem os *brises* é similar com relação à alteração da absorvância, sendo que, quanto maior o PAF, menor é o impacto da variável.

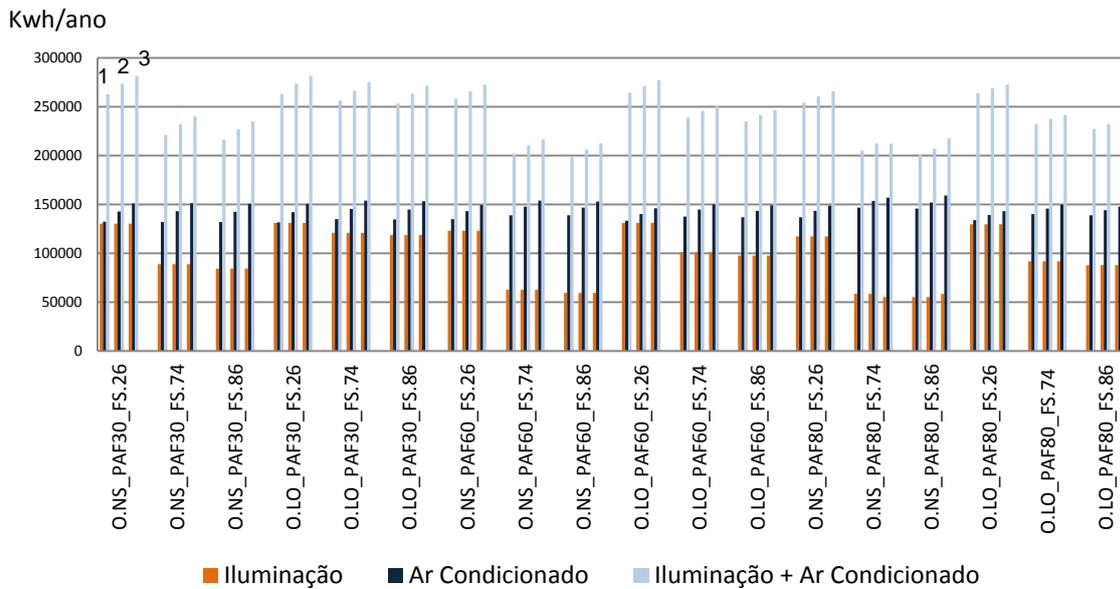


Gráfico 43 - Gráfico do comportamento do consumo em edifícios **com brises** de acordo com a variação da absortância, sendo em (1) ABS30; em (2) ABS40; e em (3) ABS70.

#### 4.4.4.3 Percentual do incremento do no consumo frente a alteração da absortância

Comprovando a análise anterior, o Gráfico 44 demonstra que a alteração da absortância é mais impactante nos exemplares com PAF pequeno. Percebe-se que nesses modelos, há um incremento menor do consumo quando esses são projetados com Fator Solar pequeno, entretanto, isso não significa que a variação da absortância é menor nesses casos, e sim que o impacto do fator solar no consumo suplantou a influência da variável em questão.

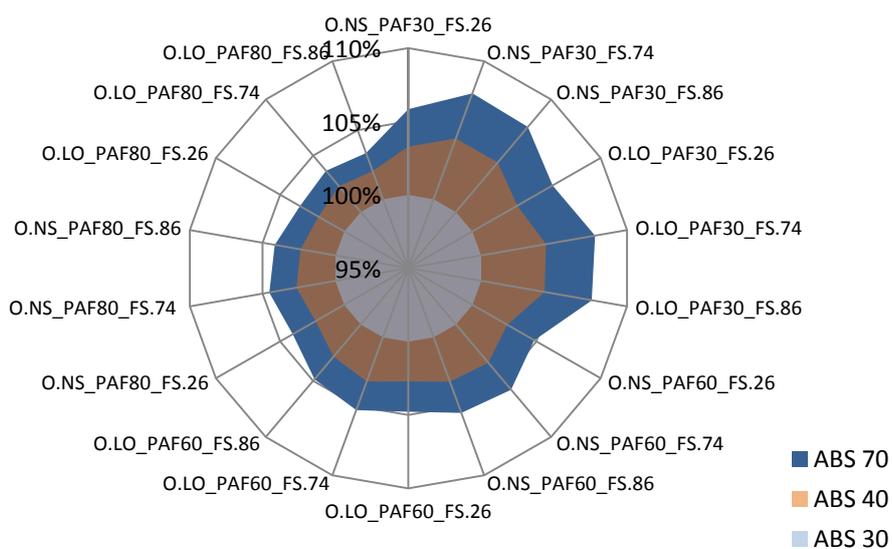


Gráfico 44 - Percentual de incremento no consumo energético com a alteração da absortância em modelos **sem brises** externo.

O Gráfico 45 demonstra que, com a inserção dos *brises*, o percentual de incremento no consumo em relação à alteração da absorvância diminui, mas o comportamento dos edifícios é similar, ficando a cargo daqueles projetados com menor PAF, o maior potencial de aumento no dispêndio energético.

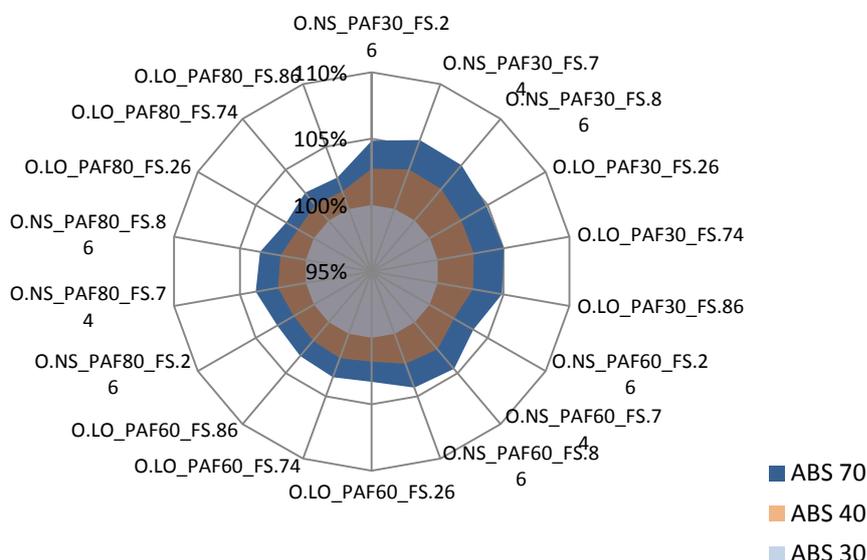


Gráfico 45 - Percentual de incremento no consumo energético com a alteração da absorvância em modelos **com brises** externo.

#### 4.4.5 Proteção Solar

##### 4.4.5.1 Impacto geral da alteração da proteção

Na análise geral do comportamento dos edifícios com a inserção dos *brises*, verificou-se que o dispositivo projetado não representou alteração significativa no consumo (Gráfico 46). Esse comportamento é consequência do aumento significativo com a iluminação e da discreta redução do consumo com o ar condicionado. Como este tem um peso muito maior no consumo final, o resultado foi neutro.

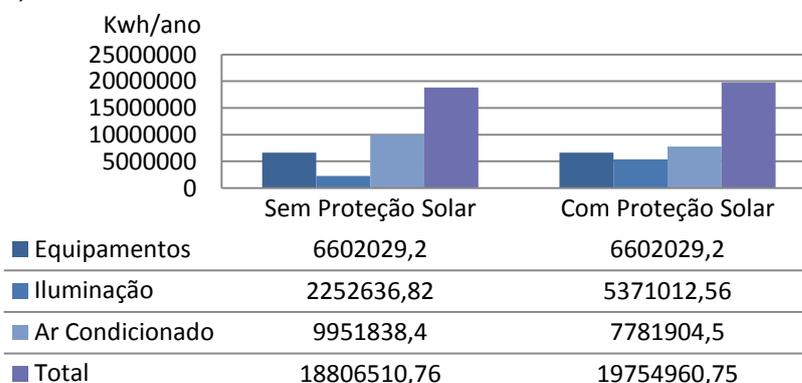


Gráfico 46 - Consumo total dos modelos **com brises** de acordo com a proteção solar.

#### 4.4.5.2 Impacto individual da alteração da proteção

Com base em uma análise mais detalhada, verifica-se que há um impacto significativo nos modelos com inclusão dos *brises*. O Gráfico 47 representa o desempenho dos modelos com PAF30, e mostra que, em edifícios com fator Solar alto, a inserção dos dispositivos aumenta consideravelmente o consumo energético. Ainda que os *brises* reduzam o consumo com o condicionamento do ar, essa redução é discreta diante do incremento com a energia despendida com a iluminação.

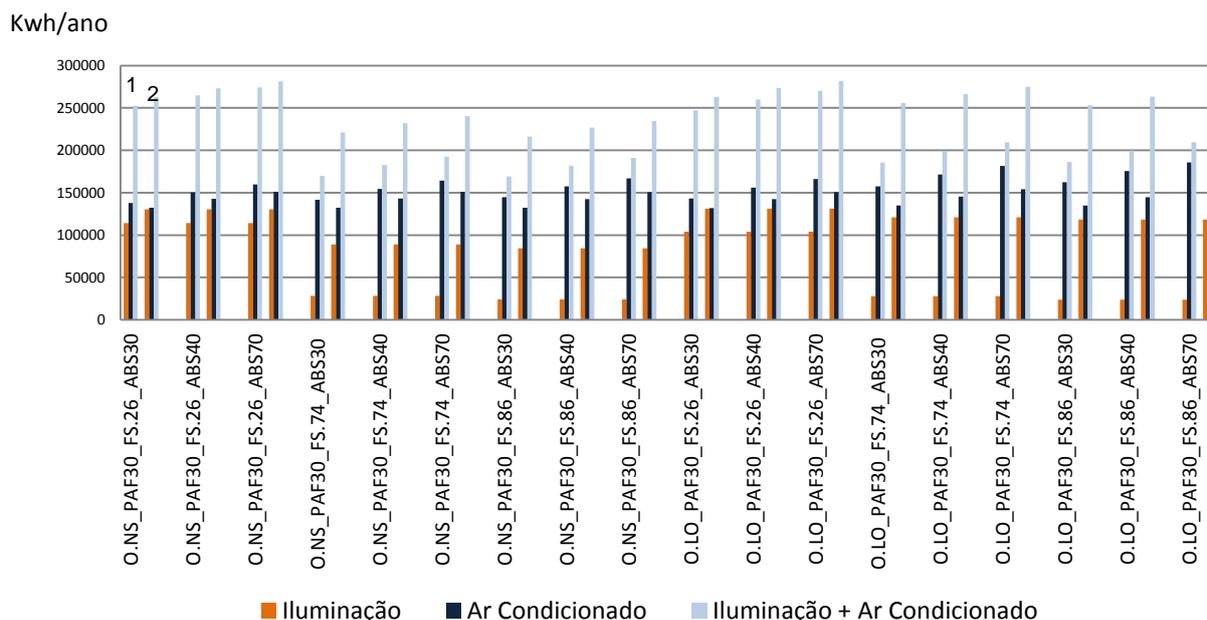


Gráfico 47 - Gráfico do comportamento do consumo em edifícios com PAF 30 de acordo com a variação da presença dos *brises*, sendo em (1), sem proteção; e em (2), com proteção.

O comportamento dos modelos com PAF 60 é, em grande parte, semelhante aos anteriores, exceto para o grupo O.NS\_PAF60\_FS86, que sofre uma alteração sutil com os *brises* e têm um desempenho influenciado pela absorvância, sendo que os modelos com ABS30 têm um aumento discreto; os com ABS40 praticamente não sofrem alteração; e os projetados com ABS70 chegam a uma redução no dispêndio energético total. Essa pequena influência também é verificada nos modelos com mesmo FS, porém orientados a Leste-Oeste (Gráfico 48).

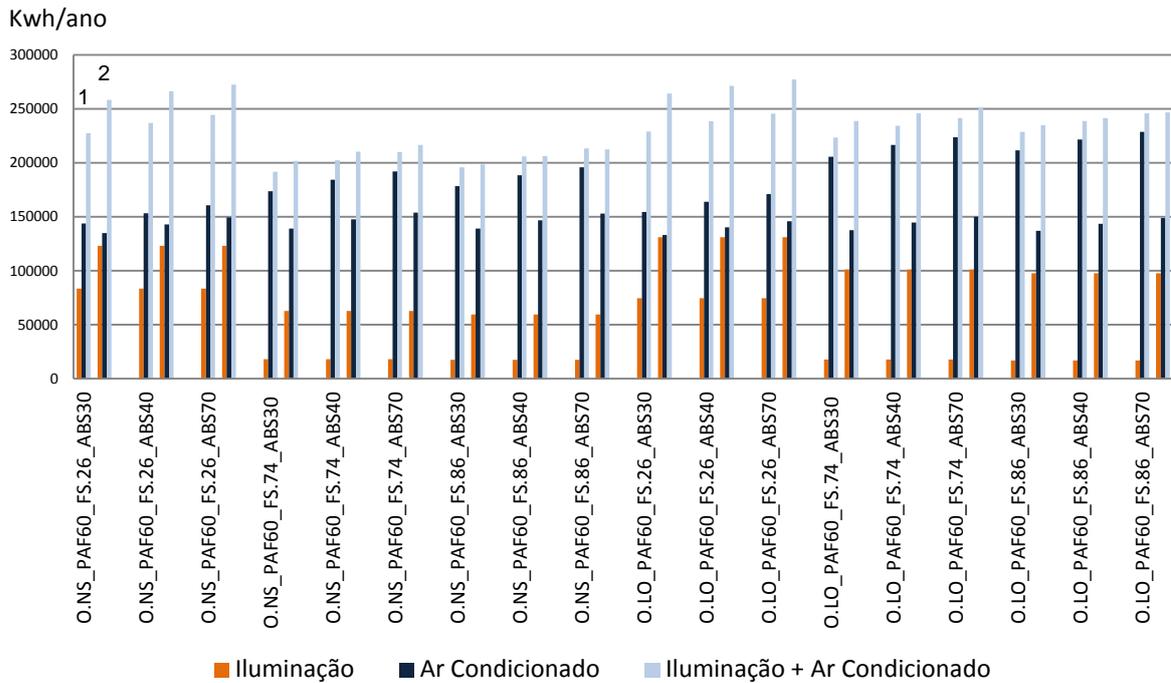


Gráfico 48 - Gráfico do comportamento do consumo em edifícios com PAF 60 de acordo com a variação da presença dos **brises**, sendo em (1), sem proteção; e em (2), com proteção.

Já nos modelos com o PAF80, só há acréscimo no consumo energético naqueles projetados com FS26. Nos edifícios projetados com Fator Solar alto, há uma diminuição considerável do dispêndio com ar condicionado, que provoca uma redução no consumo total (Gráfico 49).

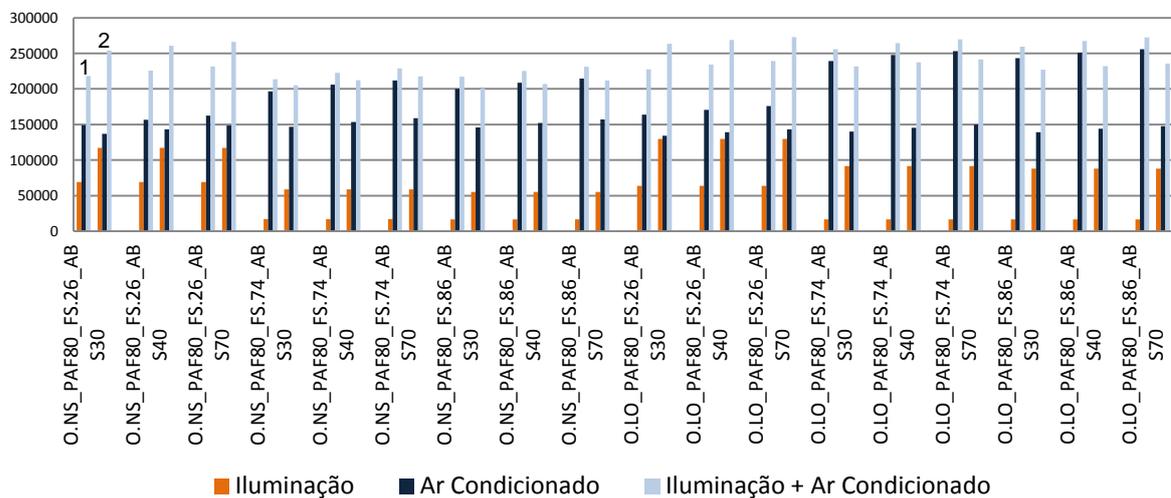


Gráfico 49 - Gráfico do comportamento do consumo em edifícios com PAF 80 de acordo com a variação da presença dos **brises**, sendo em (1), sem proteção; e em (2), com proteção.

### 4.4.5.3 Percentual do incremento do no consumo frente a alteração da proteção

Em linhas gerais, o maior potencial de impacto na utilização dos *brises* está nos edifícios com pequenas aberturas e grandes valores de FS, visto que nesses casos, há um aumento do consumo energético final. Já os modelos com mesmo FS do primeiro caso, porém com aberturas médias – PAF60 –, não sofrem alterações significativas com a inserção dos dispositivos de sombreamento, e, quando os mesmos edifícios são projetados com PAF80, há uma redução no consumo final e um aumento do impacto dos *brises* com relação aos de PAF60 (Gráfico 50).

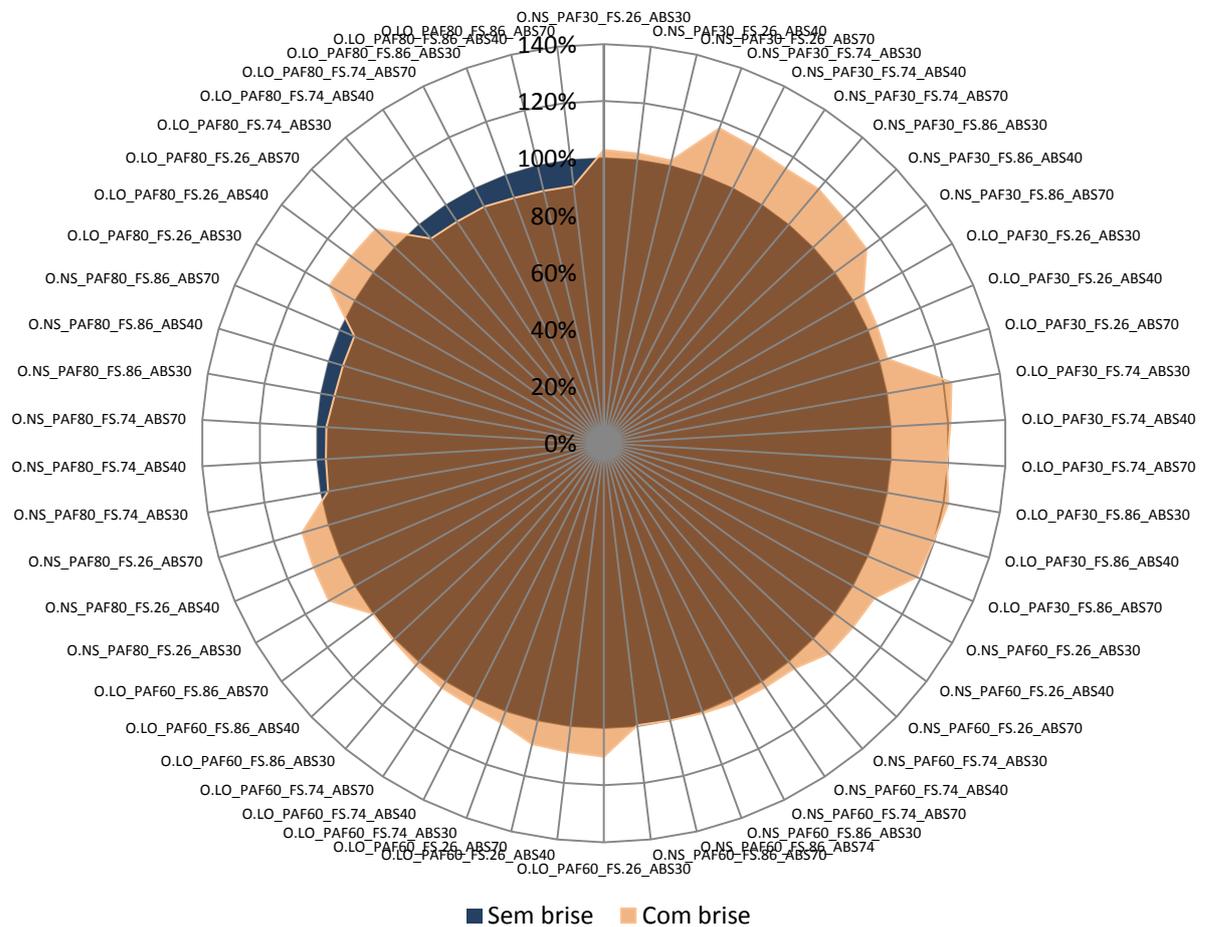


Gráfico 50 - Percentual de incremento no consumo energético com a Inserção dos *brises* externos.

## 4.5 RECOMENDAÇÕES PROJETOAIS

Como o processo projetual consiste em tomada de decisões frente a inúmeros fatores de interferência – sejam eles físicos, estéticos, financeiros, legislativos ou mesmo de exigência

do cliente –, nem sempre é possível contemplar a excelência na totalidade das escolhas. O primordial, nessa etapa, é o domínio das consequências que o conjunto de decisões acarretará. Por isso, os resultados dessa pesquisa foram trabalhados de forma a elencar recomendações projetuais que, tanto para a situação pesquisada, quanto para condições similares, possibilitem a reprodução de edifícios mais eficientes. Para isso, foram selecionados 40 modelos que pontuam os 20 edifícios que tiveram os melhores e os piores desempenhos. As Tabelas 13, 14 e 15 demonstram os piores desempenhos, enquanto as Tabelas 16, 17 e 18 representam os 20 melhores desempenhos. Juntas, elas auxiliam no reconhecimento do comportamento dos arranjos formados pelas variáveis investigadas, e possibilitam a identificação dos extremos.

Tabela 13 – Os 20 edifícios com os **piores** desempenhos nas simulações realizadas em relação ao consumo energético (Continua).

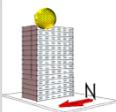
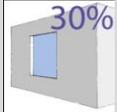
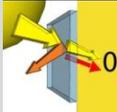
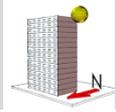
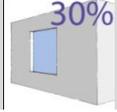
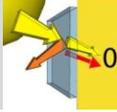
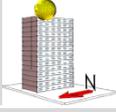
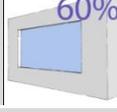
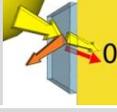
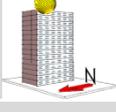
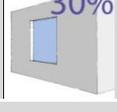
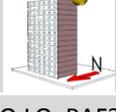
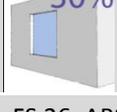
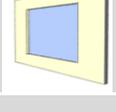
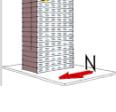
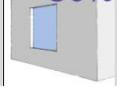
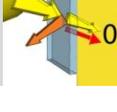
Piores desempenhos						
O.LO_PAF30_PS_FS.26_ABS70					Kwh/ano	100,00%
					403.975,4	<b>Pior desempenho</b>
O.NS_PAF30_PS_FS.26_ABS70					403.698,3	99,93%
						
O.LO_PAF60_PS_FS.26_ABS70					399.289,0	98,84%
						
O.LO_PAF30_PS_FS.74_ABS70					397.189,3	98,32%
						
O.NS_PAF30_SPS_FS.26_ABS70					396.462,0	98,14%
						
O.LO_PAF30_PS_FS.26_ABS40					395.651,8	97,94%
						

Tabela 14 – Os 20 edifícios com os **piores** desempenhos nas simulações realizadas em relação ao consumo energético (Continuação).

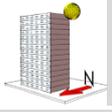
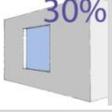
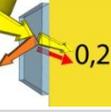
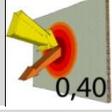
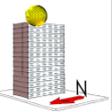
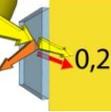
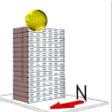
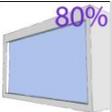
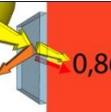
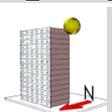
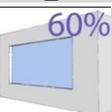
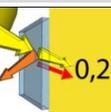
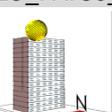
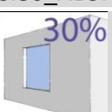
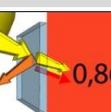
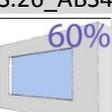
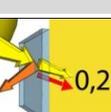
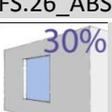
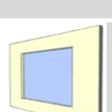
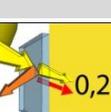
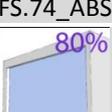
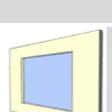
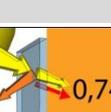
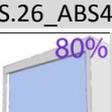
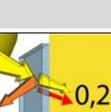
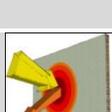
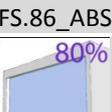
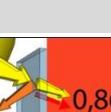
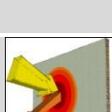
Piores desempenhos						Kwh/ano	
O.NS_PAF30_PS_FS.26_ABS40						395.579,0	97,92%
							
O.LO_PAF80_PS_FS.26_ABS70						395.018,8	97,78%
							
O.LO_PAF80_SPS_FS.86_ABS70						394.694,09	97,70%
							
O.NS_PAF60_PS_FS.26_ABS70						394.692,5	97,70%
							
O.LO_PAF30_PS_FS.86_ABS70						393.884,4	97,50%
							
O.LO_PAF60_PS_FS.26_ABS40						393.415,6	97,39%
							
O.LO_PAF30_SPS_FS.26_ABS70						392.383,2	97,13%
							
O.LO_PAF80_SPS_FS.74_ABS70						392068,26	97,05%
							
O.LO_PAF80_PS_FS.26_ABS40						391.057,1	96,80%
							
O.LO_PAF80_SPS_FS.86_ABS40						389.701,6	96,47%
							

Tabela 15 – Os 20 edifícios com os **piores** desempenhos nas simulações realizadas em relação ao consumo energético (Conclusão).

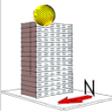
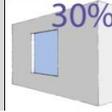
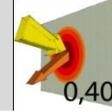
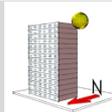
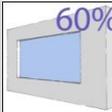
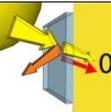
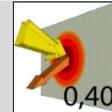
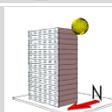
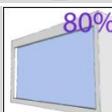
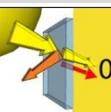
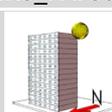
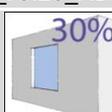
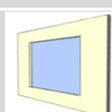
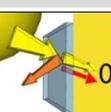
<b>Piores desempenhos</b>					Kwh/ano	
O.LO_PAF30_PS_FS.74_ABS40					388.616,7	96,20%
						
O.NS_PAF60_PS_FS.26_ABS40					388.345,6	96,13%
						
O.NS_PAF80_PS_FS.26_ABS70					388.266,0	96,11%
						
O.NS_PAF30_SPS_FS.26_ABS40					386.929,3	95,78%
						

Tabela 16 – Os 20 edifícios com os **melhores** desempenhos nas simulações realizadas em relação ao consumo energético (Continua).

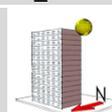
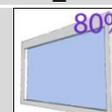
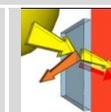
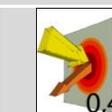
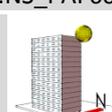
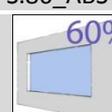
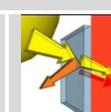
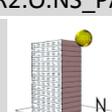
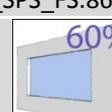
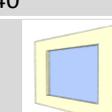
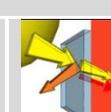
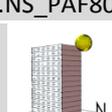
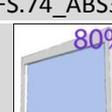
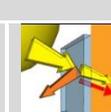
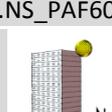
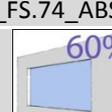
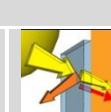
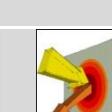
<b>Melhores desempenhos</b>					Kwh/ano	
O.NS_PAF80_PS_FS.86_ABS40					329.343,6	81,53%
						
O.NS_PAF60_PS_FS.86_ABS40					328401,8	81,29%
						
ER2.O.NS_PAF60_SPS_FS.86_ABS40					328.269,9	81,26%
						
O.NS_PAF80_PS_FS.74_ABS30					327.537,6	81,08%
						
O.NS_PAF60_SPS_FS.74_ABS40					324.743,4	80,39%
						

Tabela 17 – Os 20 edifícios com os **melhores** desempenhos nas simulações realizadas em relação ao consumo energético (continuação).

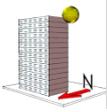
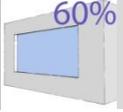
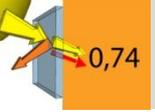
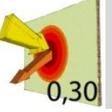
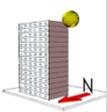
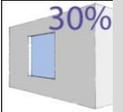
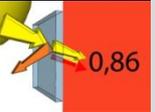
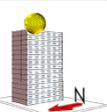
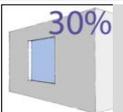
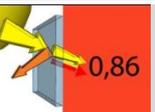
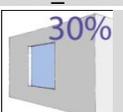
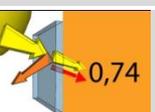
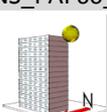
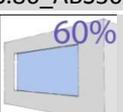
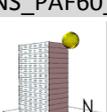
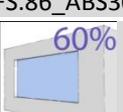
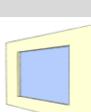
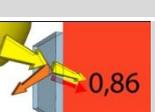
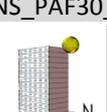
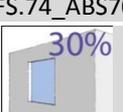
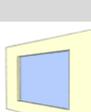
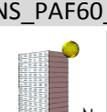
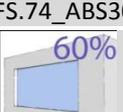
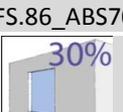
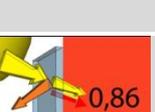
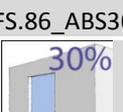
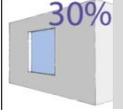
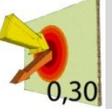
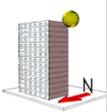
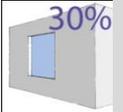
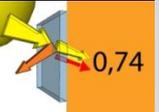
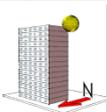
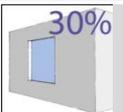
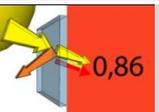
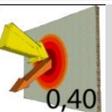
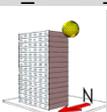
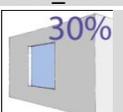
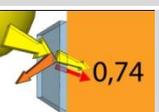
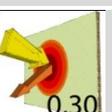
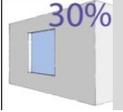
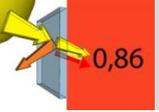
O.NS_PAF60_PS_FS.74_ABS30					Kwh/ano	
					324.092,5	80,23%
O.NS_PAF80_PS_FS.86_ABS30						
					323.110,7	79,98%
O.LO_PAF30_SPS_FS.86_ABS40						
					321.824,7	79,66%
O.LO_PAF30_SPS_FS.74_ABS40						
					321.509,7	79,59%
O.NS_PAF60_PS_FS.86_ABS30						
					320.700,8	79,39%
O.NS_PAF60_SPS_FS.86_ABS30						
					318.051,8	78,73%
O.NS_PAF30_SPS_FS.74_ABS70						
					314.727,4	77,91%
O.NS_PAF60_SPS_FS.74_ABS30						
					314070,9	77,75%
O.NS_PAF30_SPS_FS.86_ABS70						
					313.378,3	77,57%
O.LO_PAF30_SPS_FS.86_ABS30						
					308.408,1	76,34%

Tabela 18 – Os 20 edifícios com os **melhores** desempenhos nas simulações realizadas em relação ao consumo energético (Conclusão).

					Kwh/ano	
O.LO_PAF30_SPS_FS.74_ABS30					307817,54	76,20%
						
O.NS_PAF30_SPS_FS.74_ABS40					305.181,7	75,54%
						
O.NS_PAF30_SPS_FS.86_ABS40					304.156,4	75,29%
						
O.NS_PAF30_SPS_FS.74_ABS30					292.284,8	72,35%
						
O.NS_PAF30_SPS_FS.86_ABS30					291.330,0	72,12%
						<b>Melhor desempenho</b>

Dentre as possibilidades simuladas, a que apresentou o pior desempenho, em termos de consumo energético, foi a do edifício codificado como O.LO\_PAF30\_PS\_FS.26\_ABS70. Esse modelo gerou um elevado dispêndio com iluminação artificial decorrente da pequena parcela de luz natural que adentra o ambiente. Além disso, as grandes superfícies opacas foram responsáveis por absorver grande parte da carga térmica e assim, elevar a temperatura interna.

Já o melhor desempenho, codificado como O.NS\_PAF30\_SPS\_FS.86\_ABS30, também foi projetado com pequenas aberturas. No entanto, a configuração desse edifício permitiu que o ambiente interno recebesse muita luz natural possibilitando a economia com iluminação artificial, bem como a contenção do consumo com condicionamento do ar, fruto da grande refletância das superfícies opacas externas.

Verificou-se com as Tabelas 13 e 18 que a alteração dos parâmetros investigados possibilitou a redução de até 27,88% do consumo. Os resultados encontrados sugerem algumas soluções que, quando encadeadas, tendem a reduzir o dispêndio energético dos edifícios que são:

1. Quando possível, optar pela orientação Norte-Sul para as maiores aberturas. Na pesquisa ela representou uma redução de 6% no consumo final em relação à Leste-Oeste, fruto da significativa diminuição do dispêndio com ar condicionado. Essa recomendação é ainda mais relevante em edifícios com grandes aberturas, já que o impacto da orientação cresce proporcionalmente ao aumento do PAF;
2. Alargar a área de superfícies translúcidas de alto Fator Solar significa aumentar o consumo energético, quando essas não estão protegidas, ao contrário dos resultados encontrados nos modelos com *brises*, em que há uma redução no dispêndio energético. É importante lembrar que isso não significa que a inserção dos *brises* torne o edifício mais eficiente, já que há um aumento significativo do consumo energético com a iluminação, ou seja, um mesmo modelo com PAF pequeno e sem *brises* consome bem menos do que aquele projetado com generosas janelas protegidas;
3. No caso dessa pesquisa, os *brises* foram eficientes no controle do consumo energético em modelos com largas aberturas de vidros cujo FS era alto;
4. Evitar o uso de vidros com FS baixo, ou seja, reflexivos, pois, ainda que haja um controle da carga térmica, o aumento com o gasto de iluminação artificial é tão elevado que provoca, em grande parte dos exemplares, uma ampliação das taxas no consumo final;
5. Projetar paredes externas com absorvância baixa através de cores claras, principalmente quando o edifício for projetado com aberturas pequenas e, por consequência, grandes superfícies opacas; e
6. Proceder com cautela na escolha do *brises*. O bloqueio total de incidência solar direta provocou, neste estudo, um aumento considerável no consumo final decorrente da perda de iluminação natural. Os testes indicaram que *brises* com menor ângulo horizontal permitem uma redução desejável de consumo energético.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 5.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Tendo como principal finalidade a identificação de como algumas estratégias arquitetônicas promovem o conforto térmico dos usuários e a redução do consumo de energia quando aplicadas à envoltória de edifícios comerciais na cidade de Vitória, considera-se que a pesquisa cumpriu com seus objetivos. Entende-se que, não só a proposição de diretrizes, mas também a formulação de análises detalhadas do comportamento das variáveis têm o potencial de facilitar a inserção de estratégias efetivas para a contenção do consumo energético.

A proposição das recomendações de projeto, formuladas a partir dos resultados numéricos obtidos nas muitas simulações, esteve respaldada pelo referencial teórico selecionado para a pesquisa. Esse levantamento também auxiliou a seleção da ferramenta computacional mais adequada para a simulação proposta.

A escolha do *software DesignBuilder*, embora amigável quando comparado ao *EnergyPlus*, apresenta alguns entraves quanto aos dados de entrada, uma vez que alguns desses ainda não são facilmente determinados. Além disso, notou-se a falta de transparência na relação causa/efeito quanto à relevância dos *inputs* no cálculo energético.

Para minimizar possíveis discrepâncias de informações no processo simulatório, foi proposta uma metodologia que facilitou a verificação de incoerências nos dados de saída possibilitando a elaboração de testes investigativos, cujos resultados sugerem estudos futuros.

### 5.2 CONSIDERAÇÕES ESPECÍFICAS

Nos modelos sem proteção solar, o aumento do PAF acarretou um incremento no consumo, fruto do aumento no consumo energético do ar condicionado. Já nos modelos com proteção solar, houve uma redução no consumo, oriundo da redução no consumo com iluminação somada ao aumento discreto do dispêndio com o condicionamento de ar.

Com relação à orientação, tanto nas situações sem brises quanto nas projetadas com o dispositivo, a alteração da orientação do edifício de Norte-Sul para Leste-Oeste acarretou incremento no consumo energético.

A alteração do Fator solar, nos modelos sem brises provocou uma redução no consumo com o aumento do FS. O mesmo acontece nos modelos com brise, no entanto o impacto da alteração é ainda maior.

O aumento dos valores da absorvância, em edifícios sem brises externos, gerou um incremento no consumo energético, fruto do aumento com o dispêndio energético do ar condicionado. Nos casos planejados com os brises, também se identificou incremento de no consumo final com o aumento da absorvância, só que mais discreto do que no primeiro caso (sem brise).

Na análise geral do comportamento dos edifícios com a inserção dos brises, verificou-se que o dispositivo projetado não representou alteração significativa no consumo. Esse comportamento é consequência do aumento significativo com a iluminação e da discreta redução do consumo com o ar condicionado. Entretanto, na análise detalhada e individual percebe-se que há um impacto significativo nos modelos com inclusão dos brises. De modo geral, o potencial de impacto na utilização dos brises está nos edifícios com pequenas aberturas e grandes valores de FS. Neste caso há um aumento do consumo com a inserção do brise.

### **5.3 LIMITAÇÕES DO TRABALHO**

Durante o percurso da pesquisa foram encontrados alguns obstáculos que limitaram pontos importantes da pesquisa, que são:

- A dificuldade de acesso aos edifícios comerciais da Grande Vitória - necessária para o monitoramento dos padrões de uso e ocupação e levantamento das características construtivas – determinou a modificação da metodologia prevista

inicialmente. Essa etapa resultaria na maior confiabilidade dos dados de entrada no *software*;

- A proposição de modelos muito complexos – no que tange a quantidade de dados a serem lidos pelo *software* –, inviabilizou a simulação de 40% dos edifícios investigados. Como solução, decidiu-se por simplificar o modelo dos *brises* sem, contudo, modificar os ângulos de sombreamento previstos;
- O tempo de simulação para cada modelo extrapolou o cronograma previamente estabelecido e impossibilitou a elaboração de testes investigativos em todos os grupos, motivo pelo qual esses foram limitados a apenas um deles; e
- A caracterização climática de Vitória inserida no *DesignBuilder* pode não representar fielmente a condição encontrada atualmente, já que o arquivo climático utilizado, ainda que tenha passado por uma revisão em 2005, tem o levantamento de dados datado no período de 1961 a 1970.

## 5.4 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Dentre as sugestões para a continuidade da pesquisa, destacam-se:

- Desenvolvimento de estudos que contemplem o comportamento dos *brises* frente ao consumo energético, bem como os modelos adequados para a cidade de Vitória;
- Investigação do real potencial dos sistemas de controle de iluminação para a eficiência do sistema;
- Submissão do arquivo climático da cidade de Vitória a uma atualização de dados, a fim de possibilitar que as simulações alcancem resultados próximos à realidade atual; e
- Estudo do desempenho dos diferentes vidros disponíveis no mercado com o objetivo de diagnosticar a proporção entre o potencial de redução da carga térmica e o aumento do consumo com a iluminação artificial dos mesmos.

## 6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABNT. **NBR 15.220-2**: Desempenho térmico de edificações. Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005a.

ABNT. **NBR 15.220-3**: Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005c.

AGÊNCIA EFE. **Protesto paralisa parcialmente obras de Belo Monte**. Disponível em: <<http://g1.globo.com/mundo/noticia/2011/11/protesto-paralisa-parcialmente-obras-de-belo-monte.html>>. Acesso em: 26 nov. 2011.

ASHRAE, AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **Energy Standard for Buildings except low-rise Residential Buildings**. ASHRAE Standard 90.1 – 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5413**: Iluminância de interiores – procedimento. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16.401-3**: Instalações de ar-condicionado – Sistemas Centrais e Unitários. Parte 3: Qualidade do ar interior. Rio de Janeiro, 2008.

BERNABÉ, Ana Carolina Alves. **A Verticalização à Luz da Sustentabilidade**. 2008. 134 f. Monografia (Arquiteto) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Ufes, Vitória, 2008.

BITTENCOURT, Leonardo. **Uso das cartas solares em Arquitetura: Diretrizes para arquitetos**. 4. ed. Maceió: EDUFAL, 2004. v. 1. 109 p.

BORDUNI, Ronald; PIMENTA, João. Análise do Impacto de Elementos de Sombreamento Externo Sobre a Carga Térmica de Edificações. In: X CONGRESSO BRASILEIRO DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO, AQUECIMENTO E TRATAMENTO DE AR, 2007, São Paulo. **Anais...** . São Paulo, 2007.

BRASIL. Decreto nº 4.095, de 19 de dezembro de 2001. Regulamenta a Lei no 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. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 20 dez. 2001a. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/qualidade/pdf/decreto4059.pdf>> Acesso: 20 ago. 2010.

BRASIL. Lei 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 18 out. 2001b. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/lei200110295.pdf>> Acesso: 20 ago. 2010.

BROWN, GZ; DEKAY, Mark. **Sol, vento e luz: estratégias para o projeto de arquitetura.** Tradução Alexandre Salvaterra. 2ª ed. Bookman: Porto Alegre, 2004.

BULLA, Luis. **Análise paramétrica do desempenho termo-energético de um edifício de escritórios.** (Dissertação). Curso de pós-graduação em Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, 1995. 81p.

CÂNDIDO, Christina Maria. **Indoor air movement acceptability and thermal comfort in hot-humid climates.** 2010. 180 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Ufsc, Florianópolis, 2010.

CAPISTRANO, Gradisca de Oliveira Werneck de. **Eficiência e Forma de Protetores Solares Externos em Edifícios de Escritórios: Estudo de Casos em Curitiba - PR.** 2008. 138 f. Dissertação (Mestre) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, UFSCar, São Carlos, 2008.

CARLO, Joyce Correna. **Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética do Envolvimento de Edificações Não-residenciais.** 2008. 196 f. Tese (Doutor) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, 2008.

CARLO, Joyce Correna; LAMBERTS, Roberto. Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios – parte 2: método de simulação. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p.27-40, 2010.

CARRIÈRES, Kelen Regina Monte. **Desempenho Térmico e Consumo Energético de Edifícios de Escritórios em São Carlos.** 2007. 152 f. Dissertação (Mestre) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

CASTANHEIRA, Renato; CORBELLA, Oscar. Incidência Mínima de Energia Solar nos Edifícios Prismáticos (Paralelepípedos). In: X ENCONTRO NACIONAL E VI ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2009, Natal. **Anais...** . Natal, 2008. p. 690 - 699.

CASTRO, Adriana Petito de Almeida Silva; LABAKI, Lucila Chebel; CARAM, Rosana; BASSO, Admir; FERNANDES, Mauro Roberto. Medidas de refletância de cores de tintas através da análise espectral. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 3, n. 2, p.69-76, 2003.

CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simões. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos: conforto ambiental.** Rio de Janeiro: Renavam, 2003. 288 p.

CORREIA, Paulo. Avaliação do mercado de eficiência energética no Brasil: Pesquisa na Classe Comercial AT. **Procel**: 2007. Disponível em: [www.eletrobras.com/pci](http://www.eletrobras.com/pci). Acesso em: 17/01/2012.

COURBUSIER, Le. **Por uma arquitetura.** 3. ed. São Paulo: Editora Perspectiva, 1981. 205 p.  
DESIGNBUILDER. **Design Builder Software** Ltd. 2005.

DIEESE. A crise de energia – Possíveis impactos, 2001. Disponível em: <<http://www.dieese.org.br/esp/energia.xml>> Acesso em: 01 mar 2010.

DORNELLES, Kelen Almeida. **Absortância Solar de Superfícies Opacas: Métodos de Determinação e Base De Dados Para Tintas Látex Acrílica de PVA.** 2008. 160 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

DUTRA, Luciano. **Uma Metodologia para a Determinação do Fator Solar Desejável em Aberturas.** 1994. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1994.

ELETOBRÁS. Disponível em: <<http://www.eletobras.com.br/procel/>>. Acesso em: 20 nov. 2009.

ETES. **Empresa.** Disponível em: <<http://www.etesenergia.com.br/>>. Acesso em: 10 jan. 2012.

FARDIN, Jussara Farias; ANTUNES, H. M. A.; SIMONETTI, Domingos Sávio Lyrio; ALVAREZ, Cristina Engel. Uso racional e eficiente do sistema energético da Estação Antártica Comandante Ferraz: resultados preliminares. In: XXI RAPAL Reunión Anual de Administradores de Programas Antárticos Latinoamericanos, 2010, Galápagos. Anais da Comisión de Asuntos Científicos, Ambientales y Técnicos - DI 08. Guayaquil: Programa Antártico Ecuatoriano, 2010. p. 1-14.

FOSSATI, Michele; LAMBERTS, Roberto. Eficiência energética da envoltória de edifícios de escritórios de Florianópolis: discussões sobre a aplicação do método prescritivo do RTQ-C. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p.59-69, 2010.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual do Conforto Térmico.** 7. Ed. São Paulo: Studio Nobel, 2003.

GHISI, EneDir; TINKER, John. **An ideal window area concept for energy efficient integration of daylight and artificial light in buildings.** Building and Environment, nº 40, p. 51-61, 2005.

GHISI, EneDir; TINKER, John; IBRAHIM, Siti Halipah. Área de janela e dimensões de ambientes para iluminação natural e eficiência energética: literatura *versus* simulação computacional. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 5, n. 4, p.81-93, out./Nov. 2005.

GOMES, Eduardo Rodrigues. **A Geografia da verticalização litorânea de Vitória: o bairro Praia do Canto.** Vitória: GSA/PMV, 2009. 268 p.

GONÇALVES, Joana Carla Soares; ROMERO, Marcelo de Andrade. O debate da verticalidade e o novo protótipo do edifício alto no projeto Millennium tower, Londres. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** . Foz do Iguaçu: Antac, 2002. p. 409 - 418.

GOULART, Solange; LAMBERTS, Roberto; FIRMINO, Samanta. **Dados Climáticos para Projeto e Avaliação de Eficiência Energética em Edificações**. 2. ed. Florianópolis: Núcleo de Pesquisa em Construção/ufsc, 1998. 345 p. Programa PROCEL.

IBGE. Produto interno Bruto dos Municípios 2003-2007, 2010. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pibmunicipios/2003\\_2007/default.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pibmunicipios/2003_2007/default.shtm)> Acesso em: 01 mar. 2010.

IBGE. **Estimativas de população para 1º julho de 2011**. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2011/POP\\_2009\\_TCU.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2011/POP_2009_TCU.pdf)>. Acesso em: 05 jan. 2012.

IBGE. **PIB Municípios, 2011**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/download/estatistica.shtm>>. Acesso em: 30 mar. 2011.

INMET. Gráficos climatológicos, 2009. Disponível em < <http://www.inmet.gov.br/html/clima.php?lnk=http://www.inmet.gov.br/html/clima/graficos/index4.html> >. Acesso em: 03 mai. 2010.

INMET. Gráficos climatológicos, 2009. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/html/clima.php?lnk=http://www.inmet.gov.br/html/clima/graficos/index4.html>>. Acesso em: 03 mai. 2010.

INMETRO. Programa Brasileiro de Etiquetagem. 2008. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbeProdutos.asp>>. Acesso em: 15 out. 2009.

INMETRO. **Eficiência Energética - Condicionadores de Ar Split Piso-Teto com Rotação Fixa Monofásicos - Critérios 2011**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/splitTeto.pdf>>. Acesso em: 01 mar. 2011.

KLÜSENER, Cibele Sangoi. **Aplicação do Regulamento para Etiquetagem do nível ed eficiência Energética de Edifícios**: O caso do Centro de Tecnologia da UFSM. 2009. 199 f. Dissertação (Mestre) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, UFSM, Santa Maria, 2009.

MASCARÓ, João Luiz; MASCARÓ, Lúcia. **INCIDÊNCIA DAS VARIÁVEIS PROJETIVAS E DE CONSTRUÇÃO NO CONSUMO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS**: conforto ambiental. 2. ed. Porto Alegre: Sagra-dc Luzzatto, 1992. 134 p.

LAMBERTS, Roberto. **Desempenho Térmico de Edificações**. 5. ed. Florianópolis: LABEEE, 2007a. 125 p.

LAMBERTS, Roberto; GOULART, Solange; CARLO, Joyce; WESTPHAL, Fernando; PONTES, Rebeca. Regulamentação de Etiquetagem voluntária de nível de eficiência energética de edifícios comerciais e públicos. In: IX ENCONTRO NACIONAL E V LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2007, Ouro Preto. **Anais...** . Ouro Preto: Antac, 2007b. p. 1019 – 1028.

LAMBERTS, Roberto.; DUTRA, Luciano.; PEREIRA, Fernando. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 2ª ed. ProLivros, São Paulo, 1997.

LAMBERTS, Roberto; GHISI, Enedir; RAMOS, Greici (Org.). **Impactos da Adequação Climática Sobre a Eficiência energética e o Conforto Térmico de Edifícios de Escritórios no Brasil**. Florianópolis: LABEEE, 2006. 49 p.

LAMBERTS, Roberto; TRIANA, Maria Andrea. **Documento 2.2**: levantamento do estado da arte:energia. São Paulo, 2007. Projeto Finep 2386/04.

LEITE, Brenda Chaves Coelho. **Análise do Desempenho de Edifícios de Escritórios Automatizados Através da Avaliação Pós-Ocupação**. 1997. 385 f. Dissertação (Mestre) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, USP, São Paulo, 1997.

LPP. **Ferramenta ASUS**: A sustentabilidade como instrumento de projeto. Disponível em: <<http://www.lppufes.org/asus/>>. Acesso em: 10 dez. 2011.

LUCHETE, Felipe. **Justiça nega pedido para suspender licença de Belo Monte**. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/mercado/1008210-justica-nega-pedido-para-suspender-licenca-de-belo-monte.shtml>>. Acesso em: 20 nov. 2011.

MACIEL, Alexandra Albuquerque. **Bioclimatic Integration Into the Architectural Design**. 2007. 198 f. Tese (Doutor), University of Nottingham, Nottingham, 2007.

MAGALHÃES, Luiz Carlos. **Orientações Gerais para Conservação de Energia Elétrica em Prédios Públicos**. 1ª, 2001. 53 p. Programa PROCEL.

MAGALHÃES, Maria Amália. As fachadas de vidro e a iluminação natural. In: ENTAC I, 1993. São Paulo. **Anais do I Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, São Paulo, 1993. V.2, p.893-900.

MARINOSKI, Deivis; GÜTHS, Saulo; PEREIRA, Fernando; LAMBERTS, Roberto. Improvement of a measurement system for solar heat gain through fenestrations. **Energy And Buildings**, n. 39, p.478-487, 2007.

MASCARÓ, João Luiz. **O custo das decisões arquitetônicas**. 3. ed. Porto Alegre: São Cistóvão, 2004. 180 p.

MELO, Ana Paula. **Análise da influência da transmitância térmica no consumo de energia de edificações comerciais**. 2007. 78 f. Dissertação (Mestre) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, 2007.

MELO, Ana Paula; LAMBERTS, Roberto. Análise da Influência do Desempenho Térmico dos Fechamentos Opacos Através do Balanço Térmico. In: XII Encontro Nacional De Tecnologia do Ambiente Construído, 2008, Fortaleza. **Anais...** . Fortaleza, 2008.

MENDES, Nathan; WESTPHAL, Fernando Simon; LAMBERTS, Roberto; CUNHA, José Bellini. Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 5, n. 4, p.47-68, 2005.

MICHELATO, Rubia. **Avaliação do Desempenho Térmico de Vidros Refletivos**: Estudo de Caso em Células-Teste. 2007. 225 f. Dissertação (Mestre) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, UFSCar, São Carlos, 2007.

MME. **Balanco Energético Nacional**: Matrizes Energéticas Completas - Matriz 49 x 47 - Unidades Comerciais - Séries Históricas - 1970 a 2010, 2011. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/mme/menu/todas\\_publicacoes.html](http://www.mme.gov.br/mme/menu/todas_publicacoes.html)>. Acesso em: 30 mar. 2011.

MME. **A crise do petróleo e os biocombustíveis**, 2008. Disponível em <<http://www.mme.gov.br/mme/noticias/outras/28.07.2008.html>>. Acesso em 02 fev. 2010.  
MME. Etiquetagem de Eficiência Energética de Edificações, 2009a. Disponível em <[http://www.labeee.ufsc.br/eletrobras/etiquetagem/arquivos/1\\_Apresentacao\\_Etiquetagem.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/eletrobras/etiquetagem/arquivos/1_Apresentacao_Etiquetagem.pdf)>. Acesso em 30 nov. 2009.

MME. **Etiquetagem em Edificações**. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={89E211C6-61C2-499A-A791-DACD33A348F3}>>. Acesso em: 15 fev. 2012.

MME. **Manual para Aplicação dos Regulamentos**: RTQ-C e RAC-C. Rio de Janeiro: Procel/Eletrobras, 2009b. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/eletrobras/etiquetagem/downloads.php>>. Acesso em: 25 nov. 2009

MME. **Matriz energética Nacional 2030**, 2007. Disponível em <[http://www.mme.gov.br/spe/galerias/arquivos/Publicacoes/matriz\\_energetica\\_nacional\\_2030/MatrizEnergeticaNacional2030.pdf](http://www.mme.gov.br/spe/galerias/arquivos/Publicacoes/matriz_energetica_nacional_2030/MatrizEnergeticaNacional2030.pdf)>. Acesso em: 25 mar. 2011.

MME. **Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos**, 2009c. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001424.pdf>> Acesso em: 27 nov. 2009.

MME. **Resenha Energética Brasileira**: Exercício de 2010, 2011. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/publicacoes/BEN/3\\_-Resenha\\_Energetica/Resenha\\_Energetica\\_2010\\_-\\_PRELIMINAR.pdf](http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/publicacoes/BEN/3_-Resenha_Energetica/Resenha_Energetica_2010_-_PRELIMINAR.pdf)>. Acesso em: 25 mar. 2011.

MÜLFARTH, Roberta Consentino Kronka. **Arquitetura de baixo impacto humano e ambiental**. 2002. 2 v. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

MUNICÍPIO de Altamira pede suspensão das obras de Belo Monte. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/mercado/1009223-municipio-de-altamira-pede-suspensao-das-obras-de-belo-monte.shtml>>. Acesso em: 20 nov. 2011.

NEGREIROS, Bianca. Avaliação de Desempenho Térmico de uma Habitação de Interesse Social segundo *Design Builder*. In: XII ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12., 2008, Fortaleza. **Anais...** . Fortaleza: Antac, 2008. p. 1 - 9.

PEDRINI, Aldomar. **Integration of low energy strategies to the early stages of design process of office buildings in warm climate**. 2003. Tese (Doutorado) - The University Of Queensland, 2003.

PEDRINI, Aldomar; HYDE, Richard. A database energy tool for design-phase assessment of office buildings. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, 18., 2001, Florianópolis. **Anais...** . Florianópolis: Plea, 2001. p. 923 - 930.

PIRRÓ, Lucia Fernanda de Souza. **Impacto das envoltivas verticais no desempenho energético de edifícios de escritórios**. 2005. Tese (Doutor) - Curso de Estruturas Ambientais e Urbanas, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

PIRRÓ, Lúcia Fernanda de Souza; ROMÉRO, Marcelo; GUGLIELMETTI, Ana Helena. **A Aplicação do Software ESP-r em Simulações Energéticas e de Conforto Ambiental**. In: NUTAU'98, 1998, São Paulo.

PREFEITURA MUNICIPAL DE VITÓRIA, **Plano Diretor Urbano**. Vitória: Junho, 2005.

RAMIRES, Julio Cesar de Lima. **A verticalização do espaço urbano de Uberlândia: uma análise da produção e consumo da habitação**. 1998. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, 1998.

ROMAN, Humberto; BONIN, Luis Carlos (Ed.). **Normalização e Certificação na Construção Habitacional**. Porto Alegre: Antac, 2003. 222 p. (Coletânea Habitare).

ROMERO, Marcelo; PIRRO, Lucia; GUGLIELMETTI, Ana Helena. A aplicação do software ESP-r e simulações energéticas e de conforto ambiental. In: NUTAU, 98., 1998, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 1998.

RORIZ, Victor; DORNELLES, Kelen Almeida; RORIZ, Maurício. Fatores Determinantes da Absortância Solar de Superfícies Opacas. In: IX Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto No Ambiente Construído, 2007, Ouro Preto. **Anais...** . Ouro Preto, 2007. p. 1629 - 1638.

SANTANA, Marina Vasconcelos. **Influência de parâmetros construtivos no consumo de energia de edifícios de escritório localizados em Florianópolis - SC**. 2006. 181 f. Dissertação (Mestre) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, 2006.

SCALCO, Veridiana Atanasio; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay; RIGATTI, Decio. Impacto de novas edificações na vizinhança: proposta de método para a análise das condições de iluminação natural e de insolação. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p.171-187, 2010.

SIGNOR, Régis. **Análise de Regressão do Consumo de Energia Elétrica Frente a Variáveis Arquitetônicas para Edifícios Comerciais Climatizados em 14 Capitais Brasileiras**. 1999. 122 f. Dissertação (Mestre) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, 1999.

SIRKIS, Alfredo. O desafio ecológico das cidades. In: TRIGUEIRO, André (Org.). **Meio Ambiente no Século 21**. Rio de Janeiro: Sextante, 2003. p. 216-229.

SOUZA, Ana Dieuzeide Santos; ALVAREZ, Cristina Engel de. Procedimentos para a obtenção de dados de conforto para alimentação de sistemas de avaliação da sustentabilidade de edifícios. In: X ENCONTRO NACIONAL e VI ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2009, Natal. **Anais...** . Natal: Antac, 2009.

TRIGUEIRO, André. **As consequências ambientais da construção da usina Belo Monte**. Disponível em: <<http://cbn.globoradio.globo.com/comentaristas/andre-trigueiro/2010/03/20/AS-CONSEQUENCIAS-AMBIENTAIS-DA-CONSTRUCAO-DA-USINA-BELO-MONTE.htm>>. Acesso em: 20 abr. 2011.

VENÂNCIO, Raoni. **A influência de decisões arquitetônicas na eficiência energética do Campus/UFRN**. 2007. 221 f. Dissertação (Mestre) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, UFRN, Natal, 2007.

VENÂNCIO, Raoni. **Treinamento para o Programa Design Builder**. Natal: Laboratório de Conforto Ambiental – UFRN, [200-]. 83 p.

WESTPHAL, Fernando Simon; LAMBERTS, Roberto. Simulação energética de edificações no programa *EnergyPlus* utilizando dados das Normas Climatológicas. In: VIII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 2005, Maceió, AL. **Anais do VIII ENCAC e IV ELACAC**. Porto Alegre, RS: ANTAC, 2005. p. 2183-2192.

WESTPHAL, Fernando Simon; LAMBERTS, Roberto; CUNHA NETO, José Antônio Bellini da. Estimativa do consumo de energia elétrica de edificações climatizadas não residenciais utilizando dados climáticos simplificados. In: IX Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências Térmicas, 2002, Caxambu - MG. **Anais do IX Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências Térmicas**, 2002.

YEANG, Ken. **El rascacielos ecológico**. Barcelona: Gustavo Gili: 2001.

YOSHIDA, Rosana. **Das Normas em Conforto Térmico ao Projecto de Arquitectura: Estudo de Caso para Edifícios de Habitação - Zona Bioclimática Brasileira Z3 - Brasil**. 2006. 277 f. Dissertação (Mestre) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2006.

## Apêndice 1

Mod	Ori	PAF	PS	FS	Absor	Codificação
ER <sup>1</sup>	O.LO	PAF.60	SPS	FS.86	AB.40	ER1_O.LO_PAF.60_SPS_FS.86_AB.40
1	O.LO	PAF.60	SPS	FS.86	AB.30	O.LO_PAF.60_SPS_FS.86_AB.30
2	O.LO	PAF.60	SPS	FS.86	AB.70	O.LO_PAF.60_SPS_FS.86_AB.70
3	O.LO	PAF.80	SPS	FS.86	AB.40	O.LO_PAF.80_SPS_FS.86_AB.40
4	O.LO	PAF.80	SPS	FS.86	AB.30	O.LO_PAF.80_SPS_FS.86_AB.30
5	O.LO	PAF.80	SPS	FS.86	AB.70	O.LO_PAF.80_SPS_FS.86_AB.70
6	O.LO	PAF.30	SPS	FS.86	AB.40	O.LO_PAF.30_SPS_FS.86_AB.40
7	O.LO	PAF.30	SPS	FS.86	AB.30	O.LO_PAF.30_SPS_FS.86_AB.30
8	O.LO	PAF.30	SPS	FS.86	AB.70	O.LO_PAF.30_SPS_FS.86_AB.70
9	O.LO	PAF.60	SPS	FS.74	AB.40	O.LO_PAF.60_SPS_FS.74_AB.40
10	O.LO	PAF.60	SPS	FS.74	AB.30	O.LO_PAF.60_SPS_FS.74_AB.30
11	O.LO	PAF.60	SPS	FS.74	AB.70	O.LO_PAF.60_SPS_FS.74_AB.70
12	O.LO	PAF.80	SPS	FS.74	AB.40	O.LO_PAF.80_SPS_FS.74_AB.40
13	O.LO	PAF.80	SPS	FS.74	AB.30	O.LO_PAF.80_SPS_FS.74_AB.30
14	O.LO	PAF.80	SPS	FS.74	AB.70	O.LO_PAF.80_SPS_FS.74_AB.70
15	O.LO	PAF.30	SPS	FS.74	AB.40	O.LO_PAF.30_SPS_FS.74_AB.40
16	O.LO	PAF.30	SPS	FS.74	AB.30	O.LO_PAF.30_SPS_FS.74_AB.30
17	O.LO	PAF.30	SPS	FS.74	AB.70	O.LO_PAF.30_SPS_FS.74_AB.70
18	O.LO	PAF.60	SPS	FS.26	AB.40	O.LO_PAF.60_SPS_FS.26_AB.40
19	O.LO	PAF.60	SPS	FS.26	AB.30	O.LO_PAF.60_SPS_FS.26_AB.30
20	O.LO	PAF.60	SPS	FS.26	AB.70	O.LO_PAF.60_SPS_FS.26_AB.70
21	O.LO	PAF.80	SPS	FS.26	AB.40	O.LO_PAF.80_SPS_FS.26_AB.40
22	O.LO	PAF.80	SPS	FS.26	AB.30	O.LO_PAF.80_SPS_FS.26_AB.30
23	O.LO	PAF.80	SPS	FS.26	AB.70	O.LO_PAF.80_SPS_FS.26_AB.70
24	O.LO	PAF.30	SPS	FS.26	AB.40	O.LO_PAF.30_SPS_FS.26_AB.40
25	O.LO	PAF.30	SPS	FS.26	AB.30	O.LO_PAF.30_SPS_FS.26_AB.30
26	O.LO	PAF.30	SPS	FS.26	AB.70	O.LO_PAF.30_SPS_FS.26_AB.70
27	O.LO	PAF.60	PS	FS.86	AB.40	O.LO_PAF.60_PS_FS.86_AB.40
28	O.LO	PAF.60	PS	FS.86	AB.30	O.LO_PAF.60_PS_FS.86_AB.30
29	O.LO	PAF.60	PS	FS.86	AB.70	O.LO_PAF.60_PS_FS.86_AB.70
30	O.LO	PAF.80	PS	FS.86	AB.40	O.LO_PAF.80_PS_FS.86_AB.40

31	O.LO	PAF.80	PS	FS.86	AB.30	O.LO_PAF.80_PS_FS.86_AB.30
32	O.LO	PAF.80	PS	FS.86	AB.70	O.LO_PAF.80_PS_FS.86_AB.70
33	O.LO	PAF.30	PS	FS.86	AB.40	O.LO_PAF.30_PS_FS.86_AB.40
34	O.LO	PAF.30	PS	FS.86	AB.30	O.LO_PAF.30_PS_FS.86_AB.30
35	O.LO	PAF.30	PS	FS.86	AB.70	O.LO_PAF.30_PS_FS.86_AB.70
36	O.LO	PAF.60	PS	FS.74	AB.40	O.LO_PAF.60_PS_FS.74_AB.40
37	O.LO	PAF.60	PS	FS.74	AB.30	O.LO_PAF.60_PS_FS.74_AB.30
38	O.LO	PAF.60	PS	FS.74	AB.70	O.LO_PAF.60_PS_FS.74_AB.70
39	O.LO	PAF.80	PS	FS.74	AB.40	O.LO_PAF.80_PS_FS.74_AB.40
40	O.LO	PAF.80	PS	FS.74	AB.30	O.LO_PAF.80_PS_FS.74_AB.30
41	O.LO	PAF.80	PS	FS.74	AB.70	O.LO_PAF.80_PS_FS.74_AB.70
42	O.LO	PAF.30	PS	FS.74	AB.40	O.LO_PAF.30_PS_FS.74_AB.40
43	O.LO	PAF.30	PS	FS.74	AB.30	O.LO_PAF.30_PS_FS.74_AB.30
44	O.LO	PAF.30	PS	FS.74	AB.70	O.LO_PAF.30_PS_FS.74_AB.70
45	O.LO	PAF.60	PS	FS.26	AB.40	O.LO_PAF.60_PS_FS.26_AB.40
46	O.LO	PAF.60	PS	FS.26	AB.30	O.LO_PAF.60_PS_FS.26_AB.30
47	O.LO	PAF.60	PS	FS.26	AB.70	O.LO_PAF.60_PS_FS.26_AB.70
48	O.LO	PAF.80	PS	FS.26	AB.40	O.LO_PAF.80_PS_FS.26_AB.40
49	O.LO	PAF.80	PS	FS.26	AB.30	O.LO_PAF.80_PS_FS.26_AB.30
50	O.LO	PAF.80	PS	FS.26	AB.70	O.LO_PAF.80_PS_FS.26_AB.70
51	O.LO	PAF.30	PS	FS.26	AB.40	O.LO_PAF.30_PS_FS.26_AB.40
52	O.LO	PAF.30	PS	FS.26	AB.30	O.LO_PAF.30_PS_FS.26_AB.30
53	O.LO	PAF.30	PS	FS.26	AB.70	O.LO_PAF.30_PS_FS.26_AB.70
<b>ER<sup>2</sup></b>	<b>O.NS</b>	<b>PAF.60</b>	<b>SPS</b>	<b>FS.86</b>	<b>AB.40</b>	<b>ER2_O.NS_PAF.60_SPS_FS.86_AB.40</b>
54	O.NS	PAF.60	SPS	FS.86	AB.30	O.NS_PAF.60_SPS_FS.86_AB.30
55	O.NS	PAF.60	SPS	FS.86	AB.70	O.NS_PAF.60_SPS_FS.86_AB.70
56	O.NS	PAF.80	SPS	FS.86	AB.40	O.NS_PAF.80_SPS_FS.86_AB.40
57	O.NS	PAF.80	SPS	FS.86	AB.30	O.NS_PAF.80_SPS_FS.86_AB.30
58	O.NS	PAF.80	SPS	FS.86	AB.70	O.NS_PAF.80_SPS_FS.86_AB.70
59	O.NS	PAF.30	SPS	FS.86	AB.40	O.NS_PAF.30_SPS_FS.86_AB.40
60	O.NS	PAF.30	SPS	FS.86	AB.30	O.NS_PAF.30_SPS_FS.86_AB.30
61	O.NS	PAF.30	SPS	FS.86	AB.70	O.NS_PAF.30_SPS_FS.86_AB.70
62	O.NS	PAF.60	SPS	FS.74	AB.40	O.NS_PAF.60_SPS_FS.74_AB.40
63	O.NS	PAF.60	SPS	FS.74	AB.30	O.NS_PAF.60_SPS_FS.74_AB.30
64	O.NS	PAF.60	SPS	FS.74	AB.70	O.NS_PAF.60_SPS_FS.74_AB.70

65	O.NS	PAF.80	SPS	FS.74	AB.40	O.NS_PAF.80_SPS_FS.74_AB.40
66	O.NS	PAF.80	SPS	FS.74	AB.30	O.NS_PAF.80_SPS_FS.74_AB.30
67	O.NS	PAF.80	SPS	FS.74	AB.70	O.NS_PAF.80_SPS_FS.74_AB.70
68	O.NS	PAF.30	SPS	FS.74	AB.40	O.NS_PAF.30_SPS_FS.74_AB.40
69	O.NS	PAF.30	SPS	FS.74	AB.30	O.NS_PAF.30_SPS_FS.74_AB.30
70	O.NS	PAF.30	SPS	FS.74	AB.70	O.NS_PAF.30_SPS_FS.74_AB.70
71	O.NS	PAF.60	SPS	FS.26	AB.40	O.NS_PAF.60_SPS_FS.26_AB.40
72	O.NS	PAF.60	SPS	FS.26	AB.30	O.NS_PAF.60_SPS_FS.26_AB.30
73	O.NS	PAF.60	SPS	FS.26	AB.70	O.NS_PAF.60_SPS_FS.26_AB.70
74	O.NS	PAF.80	SPS	FS.26	AB.40	O.NS_PAF.80_SPS_FS.26_AB.40
75	O.NS	PAF.80	SPS	FS.26	AB.30	O.NS_PAF.80_SPS_FS.26_AB.30
76	O.NS	PAF.80	SPS	FS.26	AB.70	O.NS_PAF.80_SPS_FS.26_AB.70
77	O.NS	PAF.30	SPS	FS.26	AB.40	O.NS_PAF.30_SPS_FS.26_AB.40
78	O.NS	PAF.30	SPS	FS.26	AB.30	O.NS_PAF.30_SPS_FS.26_AB.30
79	O.NS	PAF.30	SPS	FS.26	AB.70	O.NS_PAF.30_SPS_FS.26_AB.70
80	O.NS	PAF.60	PS	FS.86	AB.40	O.NS_PAF.60_PS_FS.86_AB.40
81	O.NS	PAF.60	PS	FS.86	AB.30	O.NS_PAF.60_PS_FS.86_AB.30
82	O.NS	PAF.60	PS	FS.86	AB.70	O.NS_PAF.60_PS_FS.86_AB.70
83	O.NS	PAF.80	PS	FS.86	AB.40	O.NS_PAF.80_PS_FS.86_AB.40
84	O.NS	PAF.80	PS	FS.86	AB.30	O.NS_PAF.80_PS_FS.86_AB.30
85	O.NS	PAF.80	PS	FS.86	AB.70	O.NS_PAF.80_PS_FS.86_AB.70
86	O.NS	PAF.30	PS	FS.86	AB.40	O.NS_PAF.30_PS_FS.86_AB.40
87	O.NS	PAF.30	PS	FS.86	AB.30	O.NS_PAF.30_PS_FS.86_AB.30
88	O.NS	PAF.30	PS	FS.86	AB.70	O.NS_PAF.30_PS_FS.86_AB.70
89	O.NS	PAF.60	PS	FS.74	AB.40	O.NS_PAF.60_PS_FS.74_AB.40
90	O.NS	PAF.60	PS	FS.74	AB.30	O.NS_PAF.60_PS_FS.74_AB.30
91	O.NS	PAF.60	PS	FS.74	AB.70	O.NS_PAF.60_PS_FS.74_AB.70
92	O.NS	PAF.80	PS	FS.74	AB.40	O.NS_PAF.80_PS_FS.74_AB.40
93	O.NS	PAF.80	PS	FS.74	AB.30	O.NS_PAF.80_PS_FS.74_AB.30
94	O.NS	PAF.80	PS	FS.74	AB.70	O.NS_PAF.80_PS_FS.74_AB.70
95	O.NS	PAF.30	PS	FS.74	AB.40	O.NS_PAF.30_PS_FS.74_AB.40
96	O.NS	PAF.30	PS	FS.74	AB.30	O.NS_PAF.30_PS_FS.74_AB.30
97	O.NS	PAF.30	PS	FS.74	AB.70	O.NS_PAF.30_PS_FS.74_AB.70
98	O.NS	PAF.60	PS	FS.26	AB.40	O.NS_PAF.60_PS_FS.26_AB.40
99	O.NS	PAF.60	PS	FS.26	AB.30	O.NS_PAF.60_PS_FS.26_AB.30

100	O.NS	PAF.60	PS	FS.26	AB.70	O.NS_PAF.60_PS_FS.26_AB.70
101	O.NS	PAF.80	PS	FS.26	AB.40	O.NS_PAF.80_PS_FS.26_AB.40
102	O.NS	PAF.80	PS	FS.26	AB.30	O.NS_PAF.80_PS_FS.26_AB.30
103	O.NS	PAF.80	PS	FS.26	AB.70	O.NS_PAF.80_PS_FS.26_AB.70
104	O.NS	PAF.30	PS	FS.26	AB.40	O.NS_PAF.30_PS_FS.26_AB.40
105	O.NS	PAF.30	PS	FS.26	AB.30	O.NS_PAF.30_PS_FS.26_AB.30
106	O.NS	PAF.30	PS	FS.26	AB.70	O.NS_PAF.30_PS_FS.26_AB.70