

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

Amabeli Dell Santo

**O IMPACTO DA JANELA NO CONFORTO TÉRMICO:
Edificações multifamiliares ventiladas naturalmente**

**VITÓRIA
2014**

Amabeli Dell Santo

**O IMPACTO DA JANELA NO CONFORTO TÉRMICO:
Edificações multifamiliares ventiladas naturalmente**

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

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Cristina Engel de Alvarez

VITÓRIA
2014

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

Dell'Santo, Amabeli, 1976-

S237i O impacto da janela no conforto térmico: edificações multifamiliares
 ventiladas naturalmente / Amabeli Dell Santo. – 2014.

118 f. : il.

Orientador: Cristina Engel de Alvarez.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do
Espírito Santo, Centro Tecnológico.

1. Janelas. 2. Conforto térmico. 3. Edificações. 4. Normas técnicas. I.
Alvarez, Cristina Engel de. II. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro
Tecnológico. III. Título.

CDU: 624

AMABELI DELL SANTO

**O IMPACTO DA JANELA NO CONFORTO TÉRMICO:
Edificações multifamiliares ventiladas naturalmente**

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

Aprovada em _____.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof^a Cristina Engel de Alvarez, Dr^a

Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)
Orientadora

Prof^a Andrea Coelho Laranja, Dr^a

Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)
Examinadora interna

Prof^a Edna Aparecida Nico Rodrigues, MSc

Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)
Examinadora interna

Prof^a Cynthia Marconsini Loureiro Santos, Dr^a

Universidade de Vila Velha (UVV)
Examinadora externa

À minha querida mãe, exemplo de dedicação, trabalho,
perseverança e amor.

AGRADECIMENTOS

Deixo aqui registrado o meu muito obrigada a todos que me deram suporte para a realização deste trabalho.

À Prof^a Cristina Engel de Alvarez por ter me aceitado como orientanda e pesquisadora do LPP, e por ter acreditado no meu potencial de trabalho apesar de todos os obstáculos da minha jornada. E, principalmente por estar sempre acessível inclusive nos momentos mais difíceis! Muito obrigada pela força!

À Prof^a Edna Aparecida Nico Rodrigues, por ter me acolhido como parceira de pesquisa, pelas inúmeras horas de discussão, aprendizado e trocas de informação, obrigada por tudo!

A Dani, pelo auxílio perseverante e atencioso durante o trabalho das simulações no DesignBUILDER e tratamento dos dados no AutoCAD e Origin.

A minha companheira de trabalho Josi, pelo apoio e suporte durante minha ausência.

A minha querida mãe pela forte presença durante minha ausência, cuidando do meu bem mais precioso: Gabriel.

Ao meu companheiro de vida Miguel, pelo incentivo de sempre.

A Capes, pela bolsa de estudos concedida.

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”

José Alencar

RESUMO

A edificação atua como mecanismo de controle das variáveis do clima, através de sua envoltória (paredes, cobertura e aberturas) e deve ser projetada de modo a proporcionar conforto e eficiência energética. Entre os componentes da envoltória, em edificações de múltiplos andares, as janelas merecem especial atenção devido à carga térmica recebida pela mesma. Os vidros das janelas funcionam, particularmente, como um dos elementos de maior potencialidade de aquecimento interno para climas tropicais, devido principalmente à sua transparência à radiação solar, possibilitando facilmente o ingresso de grande parte dessa energia que se converte em carga térmica. Nesta pesquisa foi analisado o desempenho térmico de ambiente de longa permanência (dormitório) em edifícios residenciais multifamiliares ventilados naturalmente, para a cidade de Vitória, considerando-se o comparativo entre dois modelos de janelas. A metodologia envolveu: 1) revisão bibliográfica visando o aprimoramento dos conceitos fundamentais de conforto térmico; estabelecimento de critérios para definição dos modelos de janela selecionados para estudo comparativo; e identificação de normas e metodologias de análise de conforto e desempenho térmico. 2) teste da metodologia que investigou o procedimento de análise mais adequado, através do software de simulação DesignBuilder. As análises buscaram especialmente o confronto com os critérios para avaliação de desempenho térmico propostos pela ABNT NBR 15575 utilizando a simulação computacional e referenciais de conforto do usuário considerando-se o modelo de conforto adaptativo da ASHRAE. 3) ajuste final do procedimento para o estudo comparativo entre modelos de janelas. 4) avaliação dos resultados. Os resultados indicam, em média, uma redução de 45% da Frequência de Desconforto Térmico e redução de até 70% da Intensidade de Desconforto Térmico, para o ambiente analisado quando utilizado o modelo de janela com venezianas ao invés do modelo que não possui venezianas. Comprova-se assim, a eficiência do uso de venezianas como estratégia de condicionamento térmico passivo em dormitórios para a condição climática de Vitória, ES.

Palavras chave: Janelas, Conforto térmico, ABNT NBR 15575, ASHRAE.

ABSTRACT

The building acts as a mechanism of control of climate variables, through its envelope (walls, roof and vents) and should be designed so as to provide comfort and energy efficiency. Among the components of the envelope, in multistory buildings, the windows deserve special attention due to thermal load they receive. The window panes work, particularly, as one of the elements of greater internal heating capability for tropical climates, mainly due to its transparency to direct solar radiation, easily allowing the inflow of much of this energy, which turns into thermal load. In this research it was analyzed the thermal performance of long permanence environment (dormitory) in free-running multifamily residential buildings, for Vitória city, considering the comparison between two models of windows. The methodology involved: 1) literature review aiming at the improvement of the fundamental concepts of thermal comfort; establishment of criteria for definition of models of window selected for comparative study; and identification of standards and methodologies of analysis of thermal comfort and performance. 2) testing of the methodology that investigated the most appropriate analysis procedure through the DesignBuilder simulation software. The analyses specially aimed the confrontation with the criteria for assessing thermal performance proposed by ABNT NBR 15575 using computer simulation and user comfort benchmarks considering the model of adaptive comfort of the ASHRAE. 3) final adjustment of the procedure for the comparative study between models of windows. 4) evaluation of the outcomes. The results indicate that, on average, a reduction of 45% in the frequency of thermal discomfort and reduction of up to 70% of the intensity of thermal discomfort, for the environment evaluated when the model of window was used with shutters instead of the model with no shutters. Thus, it is proved the efficiency of using blinds as a strategy of passive thermal conditioning in bedrooms for the climate condition of Vitória, ES.

Keywords: Windows, Thermal comfort, ABNT NBR 15575, ASHRAE.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Esquema geral das etapas do desenvolvimento da pesquisa	20
FIGURA 2 - Edifício Nova Cintra - Parque Guinle	23
FIGURA 3 - Brise soleils e cobogós da fachada oeste do Edifício Bristol – Parque Guinle.....	24
FIGURA 4 - Detalhe persiana externa “Copacabana”	25
FIGURA 5 - Esquema de persianas externas e internas	25
FIGURA 6 - a) Edifício Columbus e b) Edifício Higienópolis.....	26
FIGURA 7 - a) Fachada Edifício Louveira; b) Vista do interior do edifício mostrando a janela ideal.	27
FIGURA 8 - a) Fachada do Edifício MMM Roberto; b) Corte da janela	28
FIGURA 9 - a) Edifício Marquês do Herval; b) Detalhe e projeto das janelas; c) croqui do funcionamento da janela.	29
FIGURA 10 - Fachada do Edifício Marques do Herval original e após a retirada dos brises.	30
FIGURA 11 - Edifício Atlanta – fachada, interior de uma quitinete e detalhe do peitoril da varanda	30
FIGURA 12 - a) Fachada do Edifício Lausanne; b) Detalhe venezianas	31
FIGURA 13 - Edifício Ibaté	31
FIGURA 14 - Exemplo comum de utilização de janelas sem proteção solar	32
FIGURA 15 - Mapa Brasileiro destacando a Zona Bioclimática 8	34
FIGURA 16 - Carta Bioclimática de Vitória	35
FIGURA 17 - Exemplos de janelas com venezianas.	37
FIGURA 18 - Esquema de ventilação natural para um edifício por duto de ventilação.a) Corte; b) Planta.	38
FIGURA 19 - a) Exemplo de ventilação cruzada e lateral, com aproveitamento das pressões negativas e positivas produzidas pelo vento. b) Exemplo da existência de vento no exterior sem ventilação interna.	39
FIGURA 20 - a) Velocidades de ventos predominantes; e b) Frequência de ocorrência dos ventos para Vitória-ES.	39
FIGURA 21 - Tipologias de janelas e ventilação. a) correr; b) pivotantes vertical e c) pivotante horizontal	40
FIGURA 22 - Comportamento do vidro simples à onda curta, onda longa e luz visível.	41

FIGURA 23 - Carta Solar da cidade de Vitória	42
FIGURA 24 - Exemplos de janelas com venezianas externas.	43
FIGURA 25 - Modelos de janelas analisados por Nico-Rodrigues	45
FIGURA 26 - Diagrama FDTxIDT.....	55
FIGURA 27 - Planta baixa do modelo utilizado, com destaque para o cômodo analisado.	60
FIGURA 28 - Configurações das temperaturas de solo utilizadas	63
FIGURA 29 - Modelo virtual a) Vista interna do 3º pavimento; b) vista externa do volume da edificação	64
FIGURA 30 - Visualização final dos modelos de janelas no DesingBuider	67
FIGURA 31 - Esquema geral do teste da metodologia.....	72
FIGURA 32 - Exemplo de tratamento dos resultados para cálculo da IDT; a) Gráfico gerado pelo Desing Builder; e b) Gráfico tratado no Origin destacando-se alteração dos valores de temperatura operativa dentro da zona de conforto.	84
FIGURA 33 - Esquema geral da análise comparativa entre os modelos de janelas	85
FIGURA 34 – Modelos de janelas	86

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - Modelo de conforto adaptativo.	51
GRÁFICO 2 - Intensity of Thermal Discomfort (ITD) - Intensidade de Desconforto Térmico (IDT)....	53
GRÁFICO 3 - Variações de FDT e IDT.....	54
GRÁFICO 4 - Unidades em construção na Grande Vitória	58
GRÁFICO 5 - Unidades comercializadas na Grande Vitória por tipologia em 2013.....	59
GRÁFICO 6 - Temperaturas máximas externas obtidas pela simulação do sítio do arquivo climático de Vitória, com destaque em amarelo para os 9 dias – 10% da amostragem – com maiores picos de temperaturas.	69
GRÁFICO 7 - Resultado de simulação apresentando temperatura do ar, temperatura radiante e temperatura operativa para um ambiente dormitório em Vitória (ES).....	71
GRÁFICO 8 - Modelo de conforto adaptativo, destacando a média mensal externa para o mês de março e o intervalo de temperatura operativa obtido	73
GRÁFICO 9 - Níveis de desempenho térmico obtidos a partir da variação do período de simulação.	75
GRÁFICO 10 - Frequência de desconforto térmico obtido a partir da variação do período de simulação.	76
GRÁFICO 11 - Nível de desempenho obtido a partir da variação da ocupação e ganhos térmicos por uso da iluminação artificial	77
GRÁFICO 12 - Frequência de desconforto térmico obtido a partir da variação da ocupação e ganhos térmicos por uso da iluminação artificial	78
GRÁFICO 13 - Resultado da simulação do dia 20 de março, correspondendo ao dia típico de projeto de verão.	79
GRÁFICO 14 - Exemplo de tratamento de gráfico no AutoCAD para cálculo de FDT	81
GRÁFICO 15 - Valores das temperaturas máximas externas do verão em Vitória.....	82
GRÁFICO 16 - Intervalo de Confiança de 99%.....	83
GRÁFICO 17 - Comparativo das médias mensais de FDT entre modelos de janelas	87
GRÁFICO 18 - FDT para IC de 99%. a) Média geral; b) Médias das orientações.	88
GRÁFICO 19 - IDT a) Média geral; b) Médias das orientações.	89
GRÁFICO 20 - Dispersão de IDT para IC de 99% a) Modelo A; b) Modelo B.	90
GRÁFICO 21 - Comparativo entre modelos de janelas, dia 8 de fevereiro, fachada Oeste.	91

GRÁFICO 22 - Comparativo entre modelos de janelas, dia 22 de janeiro, fachada Leste.	91
GRÁFICO 23 - FDT x IDT do Modelo A de janela para IC de 99%.	92
GRÁFICO 24 - FDT x IDT do Modelo B de janela para IC de 99%.	93

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – Caracterização dos modelos de janelas.	62
QUADRO 2 – Diferenças de configurações do modelo virtual adotadas para o teste da metodologia e comparativo entre janelas.....	67
QUADRO 3 - Variáveis do Teste da Metodologia	71

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Adequação de paredes externas - valores máximos admissíveis para Zona Bioclimática 8	41
TABELA 2 - Classificação dos níveis de desempenho de acordo com a NBR 15575-1, sendo M = mínimo; I = intermediário e S = superior.	50
TABELA 3 - Ocupação e cargas térmicas comparadas	65
TABELA 4 - Camadas das paredes e lajes utilizadas no modelo virtual	65
TABELA 5 - Dimensões gerais e propriedades dos materiais da envoltória.....	66
TABELA 6 – Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão, zona bioclimática 8.....	72
TABELA 7 - Relação das médias das temperaturas externas com o intervalo de conforto térmico da ASHRAE 55.	74
TABELA 8 - Dias selecionados para análise comparativa entre janelas – IC de 99%	84
TABELA 9 - Resultados obtidos pela metodologia da ABNT NBR 15575 para variação do período - Dezembro	103
TABELA 10 - Resultados obtidos pela metodologia da ABNT NBR 15575 para variação do período - Janeiro	104
TABELA 11 - Resultados obtidos pela metodologia da ABNT NBR 15575 para variação do período - Fevereiro	105
TABELA 12 - Resultados obtidos pela metodologia da ABNT NBR 15575 para variação do período - Março	106
TABELA 13 - Resultados obtidos pela metodologia da ABNT NBR 15575 para o critério de desempenho superior	107
TABELA 14 - Resultados obtidos pela metodologia da ABNT NBR 15575 para variação da ocupação - Dezembro	107
TABELA 15 - Resultados obtidos pela metodologia da ABNT NBR 15575 para variação da ocupação - Janeiro.....	108
TABELA 16 - Resultados obtidos pela metodologia da ABNT NBR 15575 para variação da ocupação - Fevereiro	109
TABELA 17 - Resultados obtidos pela metodologia da ABNT NBR 15575 para variação da ocupação - Março	110
TABELA 18 - Resultados do teste da metodologia FDT para variação da ocupação – Dezembro..	111
TABELA 19 - Resultados do teste da metodologia FDT para variação da ocupação – Janeiro.....	111

TABELA 20 - Resultados do teste da metodologia FDT para variação da ocupação – Fevereiro ...	112
TABELA 21 - Resultados do teste da metodologia FDT para variação da ocupação – Março.....	112
TABELA 22 - FDT - Modelos A e B para dezembro	113
TABELA 23 - FDT - Modelos A e B para janeiro	114
TABELA 24 - FDT - Modelos A e B para fevereiro	115
TABELA 25 - FDT - Modelos A e B para março.....	116
TABELA 26 - FDT – Resultados da amostra com IC de 99% para os modelos A e B	117
TABELA 27 - IDT – Resultados da amostra com IC de 99% para os modelos A e B	118

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASHRAE - American Society of Heating Refrigerating and Air conditioning Engineers

CFD - Computer Fluid Dynamic

DOE - Department of Energia (Departamento de Energia dos Estados Unidos)

EN - Norma Européia

FCT - Frequência de Conforto Térmico

FDT - Frequência de Desconforto Térmico

GHR - Graus-hora de resfriamento

IDT - Intensidade de Desconforto Térmico

IC – Intervalo de Confiança

LabEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

LPP-UFES - Laboratório de Planejamento e Projeto da Universidade Federal do Espírito Santo

PMV - Predicted Mean Vote ou Voto Médio Predito

PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

RTQ-R - Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais

SINDUSCON - Sindicato da Indústria da Construção Civil

UFES - Universidade Federal do Espírito Santo

TCL - Teorema Central do Limite

TRY - Test Reference Year (Ano Climático de Referência) ZB - Zona Bioclimática

SUMÁRIO

1. Introdução 17

1.1 Hipótese.....	18
1.2 Objetivos.....	19
1.3 Metodologia de pesquisa.....	19

2. Revisão bibliográfica 22

2.1 Tipologias de janelas em edificações multifamiliares no Brasil	22
2.2 Considerações sobre a escolha de janelas	33
2.2.1 Fatores climáticos e janelas.....	34
2.2.2 Janelas x desempenho termo-energético	43
2.3 Conforto Adaptativo.....	46
2.4 Desempenho e conforto térmico para edifícios ventilados naturalmente	47
2.4.1 ABNT NBR 15575.....	49
2.4.2 RTQ-R	50
2.4.3 ASHRAE 55.....	51
2.4.4 Frequência e Intensidade de Desconforto Térmico	52
2.4.5 Ferramenta de avaliação de desempenho	55

3. Metodologia 58

3.1 Recorte do objeto	58
3.2 Configurações do modelo virtual	62
3.3 Teste da metodologia.....	68
3.3.1 Variáveis de teste.....	69
3.3.2 Tratamento dos dados e procedimento para análise dos resultados	72
3.3.3 Resultados e discussão do teste da metodologia	74
3.3.4 Análise síntese	80
3.4 Metodologia adotada para análise dos modelos de janelas	80
3.4.1 Variáveis de teste.....	81
3.4.2 Tratamento dos dados e procedimento para análise dos resultados	81

4. Análise dos modelos de janelas 86

4.1 Frequência de Desconforto Térmico (FDT).....	86
4.2 Intensidade de Desconforto Térmico (IDT).....	88
4.3 Frequência x Intensidade de Desconforto Térmico.....	92

5. Considerações finais 94

Referências 96

Apêndice A - Resultados do teste da metodologia: ABNT NBR 15575 103

Apêndice B - Resultados do teste da metodologia: FDT 111

Apêndice C - Resultados do comparativo entre modelos de janelas: FDT	113
Apêndice D - Resultados do comparativo entre modelos de janelas: IDT	118

1. INTRODUÇÃO

O conforto térmico é de fundamental importância para a satisfação do usuário, e quando um edifício não proporciona conforto em seu interior influencia diretamente no consumo energético, considerando que os ocupantes tendem a tomar medidas para torná-lo confortável, como por exemplo, o uso de ar condicionado (ROAF; CRICHTON; NICOL, 2009).

Entretanto, no Brasil, o uso de aparelhos de ar condicionado não se apresenta como uma alternativa economicamente viável para a maioria da população, e o uso da ventilação natural – para remover a carga térmica adquirida pela edificação, em decorrência dos ganhos de calor externos e internos – pode representar o único método de refrigeração disponível (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2010).

Destaca-se que grande parte do território brasileiro apresenta significativo potencial para alcançar boas condições de conforto térmico com velocidades do ar interno relativamente baixas - em torno de 1,0 m/s (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2010).

Ressalta-se, desta forma, que o estudo do desempenho térmico para edifícios ventilados naturalmente se fundamenta por apresentarem grande potencial para o uso racional de energia, desejável no setor da construção civil. Além disso, a ventilação natural proporciona ambientes internos com percentagens elevadas de satisfação dos ocupantes (CÂNDIDO, 2010), pois promove resfriamento fisiológico dos mesmos (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2010).

Os níveis de conforto internos são influenciados pela carga térmica recebida pelos edifícios. Segundo Mascaró (1991, apud CORNETET, 2009, p. 27) em edifícios com mais de sete pavimentos, 70% da radiação solar direta atinge as fachadas e 30% a cobertura. Sob este aspecto torna-se de grande importância a proteção das fachadas e, principalmente, das áreas envidraçadas, pois a radiação solar direta, que penetra nos ambientes pelas aberturas, produz manchas solares no chão ou nas paredes internas, onde a radiação se transforma em calor, contribuindo a aumentar a carga térmica do edifício (CORBELLA; CORNER, 2011).

Desta forma, pode-se afirmar que as janelas são componentes que requerem estudos sistêmicos e, exigem qualidade projetual para gerar condições de controle dos níveis de conforto desejados (TIBIRIÇA; FERRAZ, 2005).

Conforme Cardoso, Aragão e Araujo (2011), o mercado imobiliário relativo às edificações residenciais multifamiliares está bastante aquecido em decorrência de programas de incentivo à compra da casa própria financiadas pelo poder público federal, como o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV). Destaca-se, na Grande Vitória, a crescente procura por imóveis de dois quartos com apartamentos de área aproximada de 70m² (SINDUSCON-ES, 2011). Aproveitando esta tendência, o empreendedor, na maioria dos casos, visa o aproveitamento máximo do potencial construtivo, onde as edificações nem sempre conseguem atingir as melhores condições ambientais. Soma-se a este, o fato das janelas receberem pouco tratamento projetual específico, tanto no que se refere ao seu posicionamento em relação à orientação solar, como à sua configuração e ao seu detalhamento. Conforme Nico-Rodrigues (2008) é comum a utilização padrão de esquadrias de alumínio com folhas de vidro em Vitória. Na maioria das vezes isso independe da orientação da edificação, sem nenhum tipo de proteção solar, resultando em edificações que não atendem, na maioria das vezes, aos padrões mínimos de conforto térmico desejado.

1.1 Hipótese

Considerando-se:

- A tendência do mercado de produção de unidades residenciais multifamiliares estimulada pelos programas de governo e executadas pela iniciativa privada de forma independente, visando ao máximo a redução do custo dos empreendimentos;
- A tendência à redução na qualidade destas habitações do ponto de vista do desempenho térmico e seu rebatimento no conforto térmico;
- Que as janelas são elementos de fundamental importância para a definição do desempenho térmico no interior das edificações;
- Que o clima de Vitória apresenta potencialidade para uso da ventilação natural como condicionante térmico passivo;

É possível inferir que, em edificações multifamiliares que não receberam tratamento projetual visando o bom desempenho térmico da edificação, a substituição do modelo de janela comumente utilizada – esquadria de alumínio com folhas de vidro –, por um modelo com

venezianas, de mesmo tamanho, pode influenciar substancialmente no desempenho térmico destas habitações, melhorando as condições de conforto térmico dos usuários.

1.2 Objetivos

A presente pesquisa tem como objetivo principal analisar comparativamente dois modelos de janelas considerando-se o desempenho térmico de um dormitório, ventilado naturalmente, visando melhores condições de conforto térmico em edificações multifamiliares em Vitória-ES.

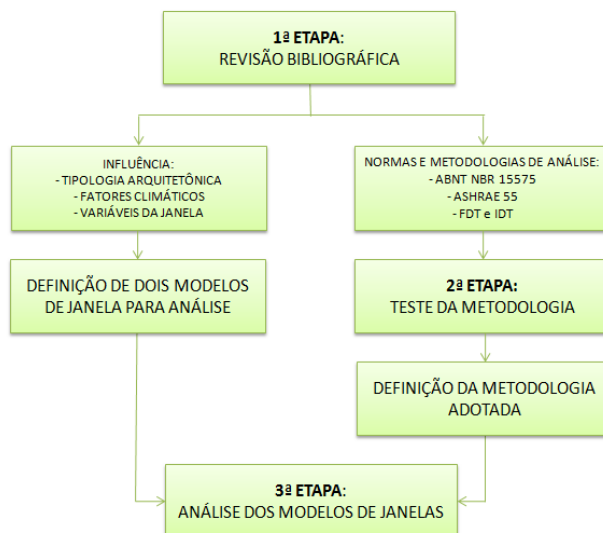
Dentre os objetivos específicos destacam-se:

- Revisar a literatura disponível acerca dos critérios e métodos de avaliação de conforto e desempenho térmico para ambientes ventilados naturalmente;
- Realizar simulações computacionais do desempenho térmico dos modelos de janela com veneziana e sem veneziana;
- Comparar os modelos de janela com veneziana e sem veneziana, a partir da metodologia proposta, identificando o que melhor atende aos requisitos de conforto do usuário.

1.3 Metodologia de pesquisa

O desenvolvimento da pesquisa delineou-se em três etapas principais. A primeira etapa, a revisão bibliográfica envolveu uma investigação de aspectos arquitetônicos, climáticos e variáveis das janelas que influenciam no desempenho térmico dos ambientes internos. Esta pesquisa culminou na definição de dois modelos de janelas para uma análise comparativa.

Ainda na revisão bibliográfica foi realizado um levantamento das normas e metodologias de conforto e desempenho térmico possíveis de serem aplicadas na análise entre os modelos de janelas selecionados, suscitando dúvidas sobre a escolha da metodologia a ser adotada. Estas culminaram em um teste metodológico, definido como a segunda etapa, para posterior refinamento dos procedimentos adotados na avaliação final dos modelos de janela - terceira etapa. A Figura 1 apresenta um esquema geral das etapas do desenvolvimento da pesquisa.

FIGURA 1 - Esquema geral das etapas do desenvolvimento da pesquisa

Em paralelo aos temas que caracterizam o embasamento conceitual, foram ainda pesquisadas as principais características dos edifícios multifamiliares na região de Vitória (ES) e levantados os elementos climáticos necessários para o processo de avaliação de desempenho.

A simulação computacional foi a ferramenta definida para calcular, em valores numéricos, os níveis de desempenho térmico entre os modelos de janelas. Assim foi escolhido o software DesignBuilder v.3 em função da adequação dos dados de saída fornecidos por este em relação aos requeridos para o desenvolvimento da pesquisa. Além disso, este oferece uma interface amigável, com bancos de dados de materiais de construção e visualização do modelo tridimensional (U. S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2013), características que facilitam aprendizagem e operação do simulador, ampliando o tempo para o desenvolvimento da pesquisa. Este programa tem sido utilizado em pesquisas científicas em âmbito nacional (VENÂNCIO, 2007; BERNABÉ, 2012; SANTOS, 2012) e internacional (TRONCHIN; FABBRI, 2008; RAHMAN; RASUL; KHAN, 2010; ALAJMI, 2012; COSTA, 2013; BAHARVAND et. al., 2013) e, apesar deste não ser gratuito, é licenciado pelo Laboratório de Planejamento e Projetos (LPP-UFES), onde esta pesquisa foi desenvolvida.

Este instrumento possibilita a manipulação das variáveis envolvidas na edificação, viabilizando a identificação do efeito de um elemento da construção isoladamente – no caso a janela – o que nem sempre é possível em experimentos de campo. Desta forma, foram fixados todos os elementos construtivos do modelo simulado, alterando-se apenas o modelo de janela.

Esta dissertação foi estruturada em cinco capítulos mais bibliografia.

No capítulo introdutório, consta a introdução, apresentando-se justificativas, objetivos e método de pesquisa.

No segundo capítulo – Revisão Bibliográfica – apresenta-se uma breve revisão abrangendo o desempenho térmico de janelas e sua relação com o conforto humano, bem como as normas e metodologias para avaliação de desempenho térmico em edifícios ventilados naturalmente.

Os procedimentos metodológicos são apresentados no terceiro capítulo. Definidos os critérios de análise de desempenho térmico para edificações ventiladas naturalmente, os parâmetros para simulações de teste da metodologia, e a partir dos resultados destas primeiras simulações, foi definida a metodologia adotada para comparativo entre os modelos de janelas. Tendo como produto final os resultados de desempenho para o ambiente analisado considerando os modelos de janela com e sem venezianas incorporadas para as quatro orientações principais.

No quarto capítulo – Resultados – são apresentadas as análises dos valores obtidos nas simulações de desempenho térmico para cada modelo de janela.

No quinto e último capítulo, são apresentadas as considerações finais, a aplicação dos resultados, a contribuição da pesquisa e ainda outras possibilidades de continuidade de investigação na mesma área.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo traz uma breve revisão bibliográfica em torno do tema janelas e desempenho/ conforto térmico. Inicialmente foram pesquisadas tipologias de janelas em edificações multifamiliares no Brasil. A seguir fez-se uma abordagem sobre critérios para seleção de janelas, envolvendo a relação dos fatores climáticos da região de Vitória com tipologias de janelas. Também foram observados estudos sobre desempenho termo-energético relacionados a janelas. Finalmente foram apresentados referenciais de critérios e metodologias de avaliação de conforto e desempenho térmico.

2.1 Tipologias de janelas em edificações multifamiliares no Brasil

No Brasil, os primeiros edifícios de apartamentos surgem na década de 1930. Eram produzidos, em sua maioria, para aluguel, representando uma boa opção de investimento por permitir a sobreposição de unidades, em vários pisos, numa mesma gleba (VILLA, 2010).

Em relação à composição de fachadas neste período, Costa e Stumpp (2013) indicam que predominavam duas tendências: a *déco*, com paredes estruturais e janelas verticalizadas e ritmadas, em que o cheio predominava sobre o vazio, e a moderna, com esqueleto estrutural e o uso de grandes aberturas, como, por exemplo, no Edifício Nova Cintra (Figura 2), de 1948. Este edifício é parte do conjunto projetado por Lúcio Costa no Parque Guinle (RJ), e cabe destacar que a orientação desta fachada é sul.

FIGURA 2 - Edifício Nova Cintra - Parque Guinle



Fonte: Kon (2014).

Os avanços técnicos na área estrutural começaram a permitir ampliação dos vãos das aberturas, e, em paralelo a indústria desenvolvia vidros de diversas espessuras e perfis metálicos cada vez mais resistentes e sutis. Assim, os vãos entre os caixilhos se ampliaram, ensaiando a “pele de vidro” (COSTA; STUMPP, 2013).

As janelas verticalizadas dèco, em sua maioria, eram fechadas por venezianas de madeira - de enrolar ou abrir - e por basculantes de pequenos vãos sustentados por perfis metálicos (COSTA; STUMPP, 2013).

A adequação das edificações ao clima é fundamental e condicionante de projeto. No Brasil, país tropical, a influência da radiação solar sobre as edificações é crítica. O clima de grande parte do Brasil se caracteriza pela grande insolação, alta umidade relativa e predominância do período quente.

Em resposta à necessidade de proteção a esta radiação solar excessiva, internamente foram adotadas cortinas e persianas e, externamente, brises e elementos vazados. Gutierrez e Labaki (2005) destacam que o brise-soleil, além da função de proteção solar, possuía uma expressão formal marcante, e adquiriu grande importância caracterizando várias obras realizadas entre os anos de 1930 e 1960, como no Edifício Brisol (Figura 3), outro edifício do conjunto do Parque Guinle.

FIGURA 3 - Brise soleils e cobogós da fachada oeste do Edifício Bristol – Parque Guinle



Fonte: Molina (2014).

Segundo Fathy (1986) citado por Gutierrez e Labaki (2005, p. 875) “o brise-soleil é na verdade uma releitura da persiana, sendo seu desenvolvimento uma questão de escala, pois as dimensões de suas lâminas são aumentadas, e sua aplicação foi estendida a toda a área das aberturas para a proteção de fachadas inteiras”.

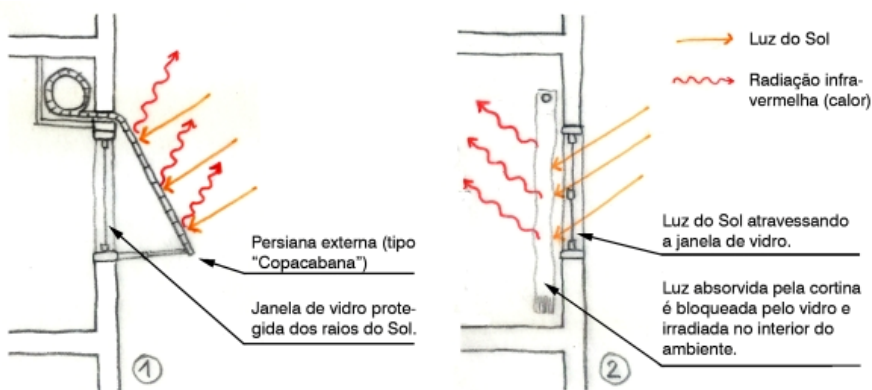
Costa e Stumpp (2013) colocam que, nas fachadas dos edifícios neste período, foram explorados ainda painéis deslizantes horizontais, configurados por venezianas de madeira, e que neste contexto, arquitetos se empenharam para detalhar aberturas com engenhosos mecanismos de funcionamento. Dentre os quais, se podem destacar o trabalho dos Irmãos Roberto, Adolf Franz Heep, Vilanova Artigas, entre outros.

Desde o surgimento das primeiras edificações multifamiliares, as persianas externas do tipo “Copacabana” (persianas de enrolar / basculantes), foram bastante utilizadas principalmente nos fechamentos de dormitórios. Na Figura 4 detalhe da persiana no Leblon – RJ nos anos 1940.

FIGURA 4 - Detalhe persiana externa "Copacabana"

Fonte: Gewerc (2013).

Este modelo de persiana externa protege o vidro da radiação solar evitando a entrada desta no interior da edificação e o acúmulo de calor. O uso de persianas internas não evita a propagação do calor no interior da edificação (Figura 5).

FIGURA 5 - Esquema de persianas externas e internas

Fonte: Bueno (2011).

Representando algumas das primeiras edificações de habitação multifamiliar, o Edifício Columbus, de 1934, e o Edifício Higienópolis, de 1936, ambos em São Paulo, do arquiteto Rino Levi (Figura 6). Destaca-se nestas edificações o uso de esquadrias metálicas em todas as janelas, de correr e

basculantes, associadas, nos ambientes de permanência prolongada, a venezianas de enrolar (PINHEIRO, 2008).

FIGURA 6 - a) Edifício Columbus e b) Edifício Higienópolis



a)



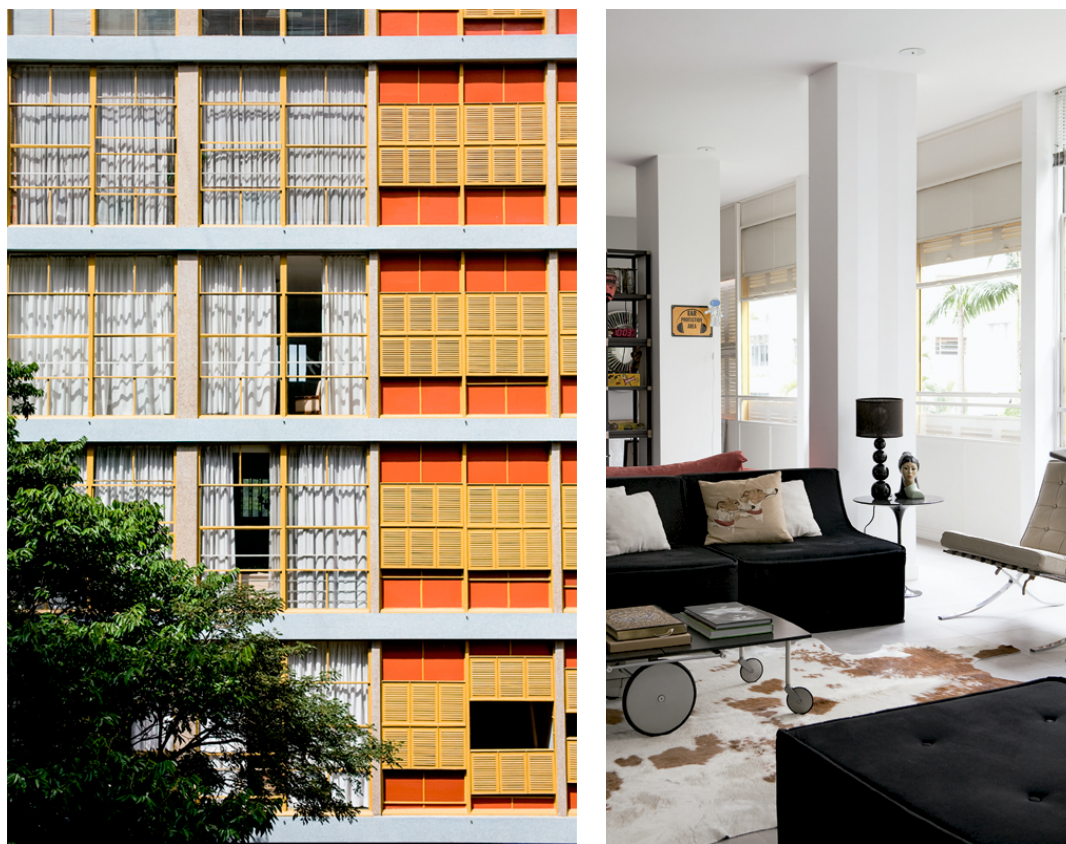
b)

Fonte: Pinheiro (2008).

Um pouco depois, surge no cenário da habitação multifamiliar, a tipologia de janela denominada “janela ideal”. No caso do Edifício Louveira, obra de Vilanova Artigas e Carlos Cascaldi de 1946, as fachadas nordeste e sudeste possuem esta tipologia nos dormitórios (Figura 7). Nas salas de estar e cozinha o sistema de vãos é composto por caixilharia externa de chapa dobrada de aço galvanizada, formando grandes painéis de vidro do piso ao teto.

De acordo com Espallargas e Gimenez (2009) a janela Ideal mais difundida é aquela que funciona com abertura do tipo “guilhotina” com folhas deslizantes e contrapesadas. Por esse motivo sua dimensão vertical coincide e está ajustada à medida piso-teto disponível entre as lajes. Essa característica do mecanismo com cabos de aço faz com que bandeira e peitoril das janelas façam parte do conjunto e sejam executados com venezianas ou com chapas de aglomerado de madeira e assim constituam painéis regulares ajustados com precisão entre vãos.

FIGURA 7- a) Fachada Edifício Louveira; b) Vista do interior do edifício mostrando a janela ideal



a)

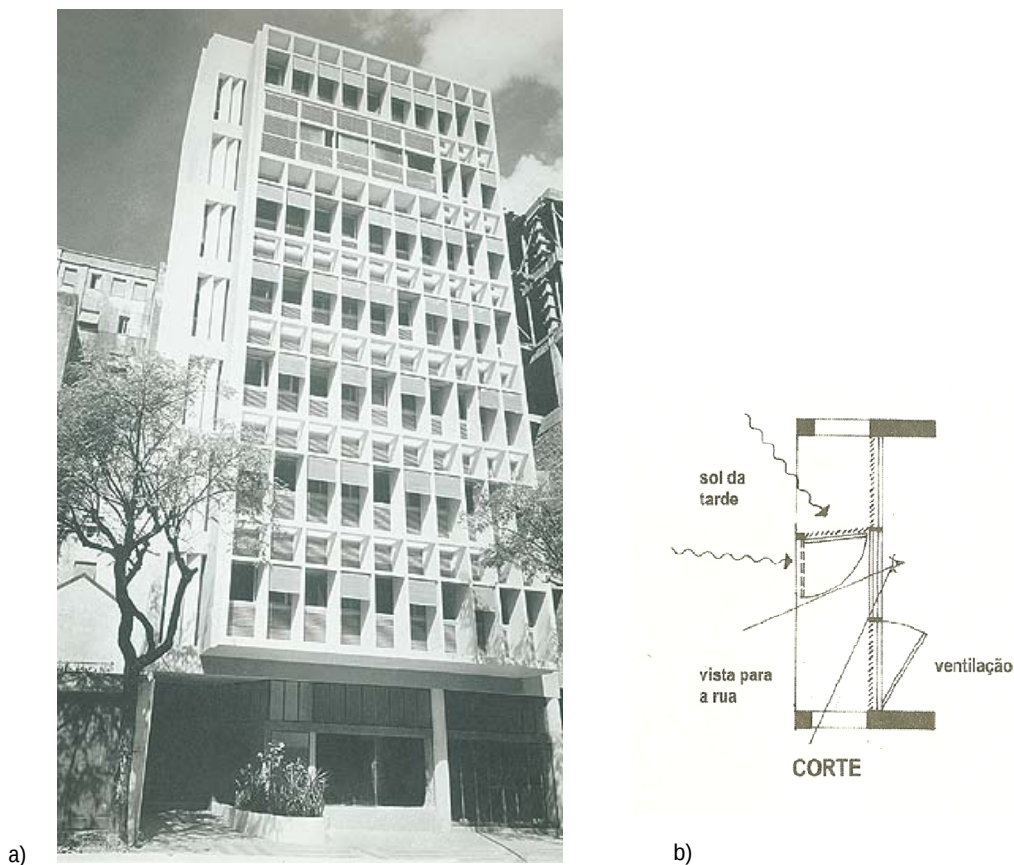
b)

Fonte: Nogueira (2013)

Pereira (1993) aponta o uso do quebra-sol, como uma característica distinta da arquitetura moderna brasileira, e destaca que seu desenvolvimento mais amplo se deu na obra dos Irmãos Roberto. A partir de um requisito de conforto ambiental, indicado pela necessidade de proteção das fachadas expostas à insolação direta, os arquitetos desenvolveram várias possibilidades plásticas destes elementos na composição de fachadas.

Marcelo Roberto, Milton Roberto e Maurício Roberto, projetaram em 1945, para o edifício MMM Roberto (Figura 8) um sistema bastante original de proteção solar que atende à variação da inclinação dos raios solares ao longo do dia (CORBELL, YANNAS, 2003). Pereira (1993) considera o sistema de proteção como motivo estético básico da fachada, onde as peças móveis conferem uma nota de leveza e dinamismo à rigidez da grelha de concreto.

FIGURA 8 - a) Fachada do Edifício MMM Roberto; b) Corte da janela



Fontes: M Roberto Arquitetos (2004); CORBELLA, YANNAS (2003).

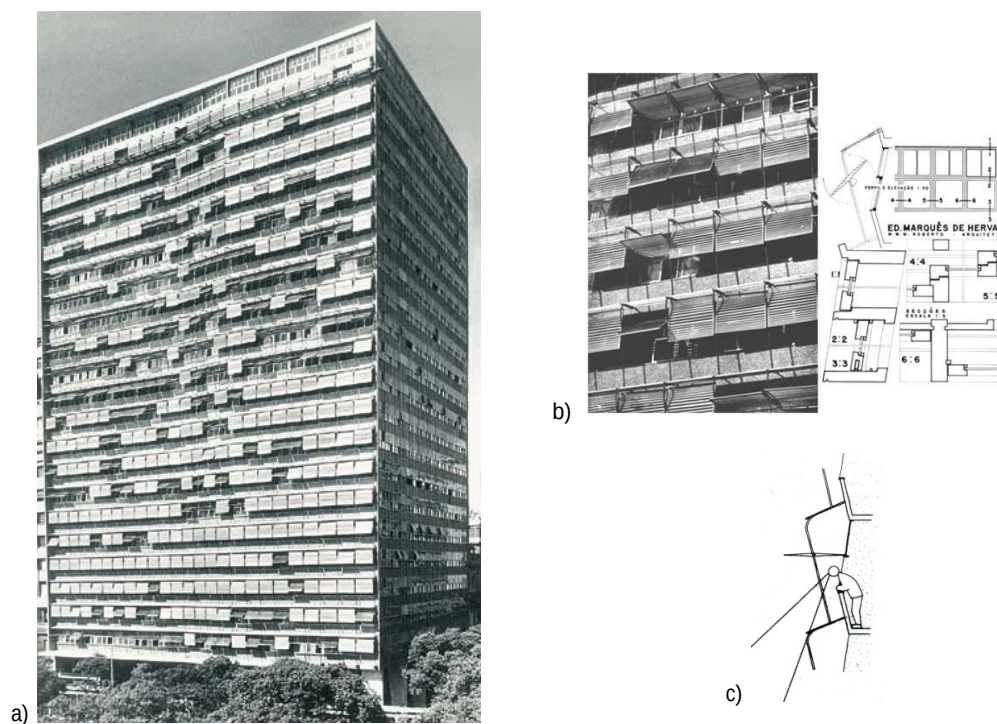
Neste sistema de proteção solar, proposto pelos irmãos Roberto,

[...] as esquadrias foram divididas em três partes que se articulam dentro de um quadriculado de concreto separado da fachada. Foram utilizadas persianas, com elementos que podem ser ajustados, na face externa dos vidros, para proteger as partes superior e inferior das janelas. Na parte central, treliças horizontais fixas em concreto, servem de proteção nas horas vizinhas ao meio-dia. Um quadro móvel de persianas, também em concreto, serve para dar sombra no período da tarde (CORBELLA; YANNAS, 2003, p. 145).

A utilização de janelas com proteção solar é considerada uma marca da arquitetura dos Irmãos Roberto, que exploraram em seus projetos lâminas verticais, horizontais, móveis e fixas, gerando diferentes tipos de quebra-sol, determinando a configuração formal das edificações (PEREIRA, 1993).

Outro exemplo interessante de composição de fachadas com uso de quebra-sóis dos Irmãos Roberto foi o Edifício Marquês do Herval (Figura 9) de 1952. Situado na esquina da Av. Rio Branco com a Av. Almirante Barroso, apesar do uso predominantemente comercial – base e 20 pavimentos de escritórios - possui um andar de apartamentos na cobertura (PEREIRA, 1993).

FIGURA 9 - a) Edifício Marquês do Herval; b) Detalhe e projeto das janelas; c) croqui do funcionamento da janela.



Fontes: M Roberto Arquitetos (2004); Durco (2012); Colin (2011).

O dinamismo dessa fachada não é resultante do tratamento do volume, pois o edifício está circunscrito à forma de um prisma puro. Mas o efeito foi alcançado pela divisão da largura do plano em três partes, com duas delas paralelas à rua e o tramo intermediário em posição oblíqua. Num segundo momento, a parede externa de cada pavimento é também dividida, agora em duas partes: peitoris avançam desde o piso, projetando-se, enquanto as esquadrias fazem o movimento oposto, recuando até o forro. A finalidade é prover visuais para a avenida Rio Branco, importantíssima artéria central da cidade e local dos carnavais da época. A operação final é a colocação, diante desta fachada, de uma superestrutura aérea de quebra-sóis metálicos móveis, cuja flexibilidade de ajuste confere à superfície uma mobilidade incomum, fruto da superposição de três níveis distintos de animação (PEREIRA, 1993, p. 112).

Atualmente o Edifício Marquês do Herval se encontra completamente descaracterizado (Figura 10), tendo perdido, a partir de 1965, os seus brises móveis, que o tornavam único, e em seu lugar surgiram aparelhos de ar condicionado (COLLIN, 2011). Uma das possíveis causas seria o descompasso entre a indústria da construção civil de então e as ideias dos arquitetos (COLLIN, 2011). Por fim o desgaste natural, as intempéries, a proximidade do mar e a falta de manutenção preventiva acabaram decretando o fim do sistema (PEREIRA, 1993).

FIGURA 10- Fachada do Edifício Marques do Herval original e após a retirada dos brises.



Fonte: Colin (2011).

Neste contexto cabe destacar ainda o trabalho do arquiteto alemão Adolf Franz Heep, que chegou ao Brasil em 1947, e teve sua produção voltada para o mercado imobiliário de São Paulo. A contribuição de Heep se destaca desde o seu primeiro projeto no ramo, o Edifício Atlanta (Figura 11), edifício de quitinetes, construído entre 1945 e 1949 (SILVA, 2013).

A janela de piso a teto, composta por portas de correr de vidro e de veneziana delimitam a varanda tornando o ambiente, que possui dimensões reduzidas, muito mais agradável. A varanda proporciona ampliação visual ao espaço interno dos apartamentos, além de proteger as portas de vidro da incidência da radiação solar com o uso das venezianas externas (SILVA, 2013).

O desenho do peitoril da varanda, misto de proteção e assento, se configura como um espaço de estar e de expansão da sala em direção à Praça da República. Além disso, a combinação dos dois elementos, o banco e as venezianas, definem o desenho da fachada principal, dinamizando-o e conferindo movimento, especialmente no sentido horizontal (SILVA, 2013).

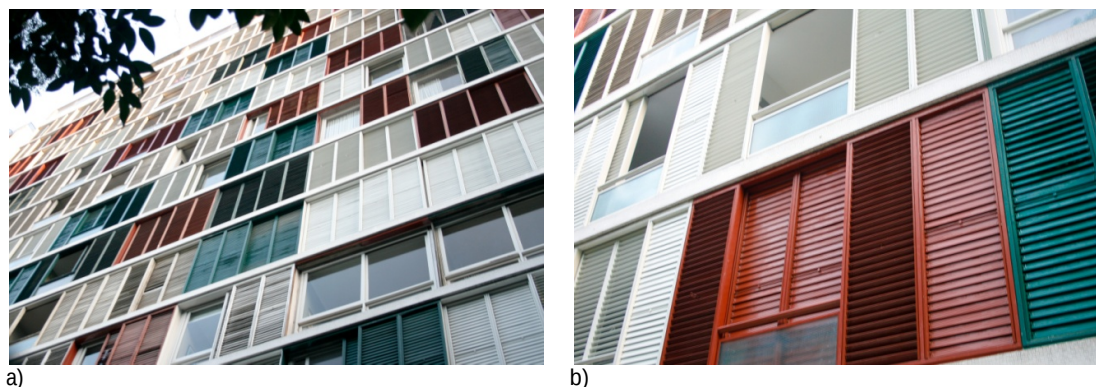
FIGURA 11- Edifício Atlanta – fachada, interior de uma quitinete e detalhe do peitoril da varanda



Fonte: Silva (2013).

Para o Edifício Lausanne (Figura 12), construído em 1953, em Higienópolis, SP, Heep também projetou um sistema de proteção solar com venezianas de correr (CORBELLA; YANNAS, 2003). A fachada nordeste, possui caixilharia de grandes dimensões, compostas por esquadrias para sala de estar, jantar e dormitórios ocupando todo o vão. Uma composição de portas de correr de grandes dimensões, com venezianas verticais, pintadas em cores diversificadas, cobre toda a fachada. Estes painéis são acionados manualmente, tornando a fachada mutante.

FIGURA 12- a) Fachada do Edifício Lausanne; b) Detalhe venezianas



Fonte: Deak (2011)

No mesmo período Heep projeta o edifício Ibaté, 1953 (Figura 13). Sua fachada se caracteriza pela presença de uma grande grelha que isola cada uma das unidades internas, e funciona como proteção para os caixilhos. Seus elementos horizontais são floreiras (COSTA, 2013). Nota-se o desenho diferenciado da janela, com duas folhas externas, tipo guilhotina, com elementos vazados protegendo as folhas de correr envidraçadas, da radiação solar.

FIGURA 13 - Edifício Ibaté



Fonte: Costa (2013).

Corbella e Yannas (2003) destacam que apesar da originalidade e bom funcionamento dos projetos de janelas com venezianas móveis em relação à proteção solar, a falta de manutenção

afetou o desempenho final destes sistemas, levando muitas vezes a alteração e até eliminação destes, suscitando reflexões sobre a necessidade de se criar janelas que possuam proteção solar, mas que também sejam de fácil manutenção.

A substituição da caixilharia por outra de material diferente e de desenho fora do especificado originalmente também contribui para descaracterização destas fachadas.

Ressalta-se que, no período inicial da habitação multifamiliar no Brasil, nas décadas de 1930 a 1950, havia uma preocupação, por parte dos arquitetos, de adaptação destas edificações ao clima, seja pelo uso de painéis em veneziana, elementos vazados e brises, como protetores solares das aberturas.

Percebe-se que estes elementos de proteção foram se perdendo nas edificações multifamiliares com passar do tempo. Tem se tornado comum o uso de janelas sem nenhum dispositivo de proteção, independente da orientação solar da fachada, por exemplo, o empreendimento Parque Vila Florata (Figura 14), localizado na Chácara Parreiral, Serra/ES, região Metropolitana da Grande Vitória (MRV, 2013).

FIGURA 14 – Exemplo comum de utilização de janelas sem proteção solar



Fonte: MRV (2013)

A este respeito, Corbella e Corner (2011) colocam que, a disponibilidade de energias abundantes e baratas, assim como a falta de preocupação com o consumo energético ou com o impacto ambiental, levaram a difundir a ideia de que qualquer projeto arquitetônico poderia ser desenvolvido sem considerar o clima local, resultando em espaços internos com condições de conforto piores que as externas, e que só podem ser habitados graças ao uso intensivo de

sistemas artificiais de climatização. Finalmente com a crise energética iniciada em 1973, surgiram movimentos que buscam a retomada da consciência da arquitetura em relação ao clima local.

Neste contexto pode-se destacar a importância da produção dos arquitetos citados neste capítulo, no tocante à proteção solar de janelas, sendo ainda fortes referenciais para os futuros projetos de janelas de habitação multifamiliar no Brasil.

2.2 Considerações sobre a escolha de janelas

De acordo com Carmody, Selkowitz e Heschong (1996) a seleção de janelas deve envolver quatro aspectos principais: aparência, função, desempenho energético e custos.

A aparência se relaciona ao tamanho, forma, estilo, materiais dos caixilhos e tipos de vidros. Na maioria das vezes o visual de uma janela substitui todas as outras considerações técnicas e de custos, já que a escolha de uma janela envolve o conceito de design exterior e interior.

A funcionalidade da janela engloba a relação do ambiente interno com fatores ambientais e o conforto do usuário. O bom aproveitamento da iluminação natural e controle de ofuscamento se vinculam ao conforto lumínico; a ventilação e controle da radiação solar ao conforto térmico; e o controle de ruídos ao conforto acústico. Além disso, a funcionalidade deve garantir facilidade de manutenção e boa durabilidade.

Há 18 anos, Carmody, Selkowitz e Heschong (1996), já indicavam a relação da tipologia das janelas com o consumo de energia da edificação. Para determinar com precisão o desempenho energético devem ser consideradas as propriedades dos materiais constituintes das janelas, bem como os parâmetros da construção e clima local.

Em relação aos custos, devem ser observados o custo inicial, de manutenção, frequência de substituição e o consumo de energia.

Frequentemente a escolha de janelas não leva em consideração todos estes aspectos, sendo baseada simplesmente no estilo, operação e custo inicial. Este capítulo visa um aprofundamento na relação das janelas com desempenho/conforto térmico, não obstante entenda a abordagem sistêmica que envolve a escolha de uma janela, e que esta deve estar associada ainda a características da envoltória, a permeabilidade interna dos espaços, entre outros.

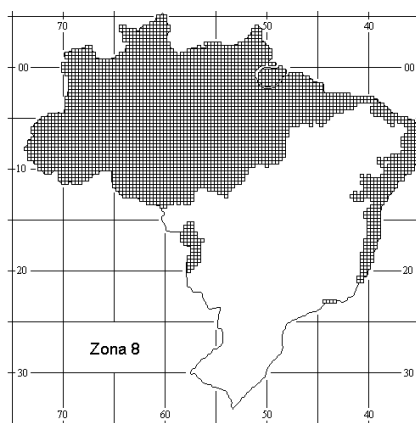
2.2.1 Fatores Climáticos e janelas

Tendo em vista que a seleção de janelas deve estar baseada nas características do clima local para que se alcance melhores condições de conforto nos ambientes internos, passa-se agora a um exame do clima de Vitória e sua relação com as tipologias de janelas.

Lamberts, Dutra e Pereira (2004) classificam o clima de Vitória como tropical atlântico, característico das regiões litorâneas do Brasil, com chuvas abundantes (1.200mm/ano) concentradas no verão.

A ABNT NBR 15220-3 apresenta uma classificação bioclimática do território brasileiro, através de cartas bioclimáticas adaptadas a partir do modelo proposto por Givoni (1992), onde são consideradas as médias mensais das temperaturas máximas, mínimas e umidades relativas do ar, extraídos das normais climatológicas. A cidade de Vitória, classificada como integrante da zona bioclimática 8 (Figura 15), possui como principais estratégias, de acordo com a referida norma: a desumidificação dos ambientes, com a renovação do ar interno através da ventilação natural; e a ventilação cruzada como estratégia de condicionamento térmico passivo - sendo que este não é suficiente nas horas mais quentes do verão, sendo necessário o uso de resfriamento artificial para amenizar o desconforto térmico por calor. Ressalta-se a indicação pela norma do uso de aberturas grandes e sombreadas para esta zona.

Figura 15 - Mapa Brasileiro destacando a Zona Bioclimática 8



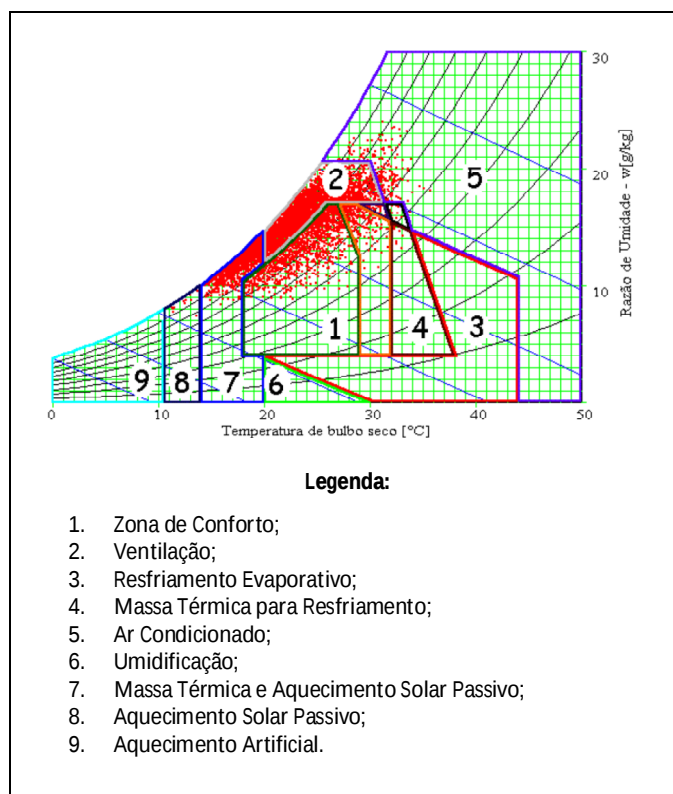
Fonte: ABNT NBR 15220-3

Cabe destacar a proposta de Raoni (2012) para revisão do Zoneamento Bioclimático Brasileiro. O autor expõe, entre outros aspectos, que o zoneamento vigente foi elaborado a partir de Normais Climatológicas de aproximadamente 300 municípios, sendo, os dados do restante do território

nacional obtidos por interpolação, agregando elevados níveis de incerteza ao zoneamento final. Além disso, o procedimento adotado para delimitação geográfica de cada zona, a partir do agrupamento de estratégias semelhantes em uma mesma zona, resultou em zonas com baixa homogeneidade climática e insuficientes para refletir a diversidade climática do Brasil.

No entanto as características climáticas identificadas para Vitória condizem com a realidade local e correspondem a carta bioclimática de Vitória (Figura 16), elaborada a partir do modelo proposto por Givoni, com a plotagem dos valores horários de temperatura e umidade do ano climático de referência¹, fornecendo informações sobre o comportamento climático da cidade e estratégias adequadas para obtenção de conforto térmico durante o ano. Observa-se uma distribuição de temperaturas entre 14°C e 33°C em umidades relativas superiores a 50%. A zona de conforto é atingida em 17,8% das horas do ano e o desconforto em 82,1%, sendo, deste percentual 64% para desconforto térmico para o calor (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2004).

FIGURA 16 - Carta Bioclimática de Vitória



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2004)

¹ O Ano Climático de Referência, ou *Test Reference Year* (TRY), consiste em dados climáticos horários, para as 8.760 horas do ano, apresentados em formato padronizado, para simulação de desempenho térmico de edificações (GOULART, LAMBERTS e FIRMINO, 1998).

Ressalta-se que a principal estratégia de projeto indicada para Vitória é o aproveitamento da ventilação natural, que solucionaria grande parte das horas de desconforto térmico para o calor, este fato reafirma a necessidade de um estudo sistêmico de janelas visando o melhor aproveitamento da ventilação natural como técnica de condicionamento térmico passivo.

A ABNT NBR 15575-1 coloca que os requisitos do usuário relativos à habitabilidade são expressos pela estanqueidade; desempenho térmico; desempenho acústico; desempenho lumínico; saúde, higiene e qualidade do ar; funcionalidade e acessibilidade; e, conforto tátil e antropodinâmico. Pode-se destacar que os cinco primeiros critérios citados relacionam-se, entre outros, com o elemento janela. Desta forma, é de suma importância o adequado tratamento projetual da janela, visando atender as funções requeridas para proporcionar qualidade ambiental no interior das edificações, e, conseqüentemente níveis aceitáveis de habitabilidade.

Assim, as janelas influenciam no desempenho do edifício e conseqüentemente no conforto dos usuários, possuindo relevância técnica e econômica. Sob os mesmos agentes ambientais, de exposição e necessidades dos usuários, diferentes contextos ambientais podem ocorrer em função da orientação (solar e aos ventos predominantes) e configurações das janelas que envolvem: a geometria; os materiais dos componentes; os mecanismos de acionamento; e os princípios de funcionamento para fins de trânsito de calor, luz, ar, vapores, som, etc (TIBIRIÇA; FERRAZ, 2005).

O desempenho térmico da edificação se relaciona diretamente as perdas e ganhos térmicos, que dependem de diversos fatores, entre os quais podem ser destacados:

- Ação do **vento** sobre as superfícies interiores e fachadas do edifício;
- Ação da **radiação solar e térmica** e, conseqüentemente, das características isolantes térmicas da envolvente do edifício; e
- **Desenho e proteção das aberturas** (Mascaró, 1991).

Outros aspectos como, características dos materiais e cores das superfícies; diferença de temperatura entre o interior e o exterior; e, características do entorno natural e construído também influenciam nos ganhos e perdas de calor da edificação. A adequada resposta a este conjunto de fatores asseguram não só a efetivação das condições mínimas de habitabilidade, mas também a redução no consumo de energia da edificação (Mascaró, 1991).

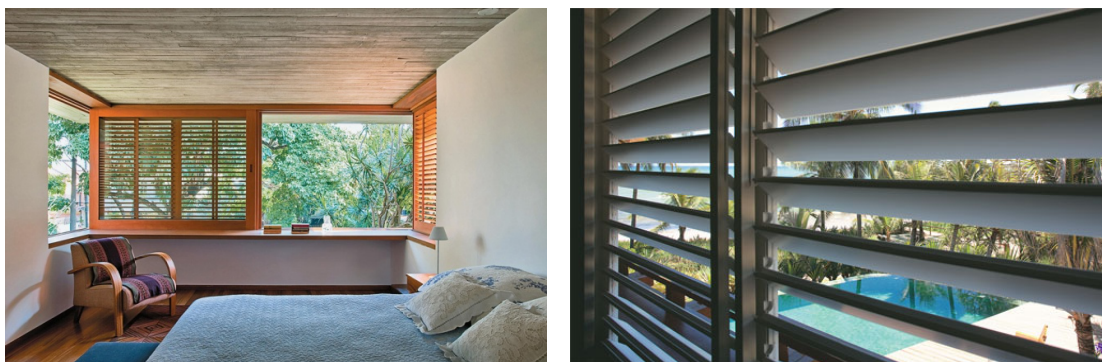
Em relação à ventilação natural, Bittencourt e Cândido (2010) enfatizam três funções básicas:

- A **renovação do ar** nos ambientes internos, mantendo a qualidade do ar, removendo impurezas e mantendo os níveis de oxigênio em patamares apropriados;
- O **resfriamento do edifício**, removendo a carga térmica acumulada devido à exposição à radiação solar direta, assim como por outros ganhos térmicos produzidos no interior da edificação, como a presença de pessoas, equipamentos, etc.; e
- O **resfriamento fisiológico do usuário**, descrito como efeito refrescante provocado pela evaporação do suor da pele e pelas trocas de calor por convecção, decorrentes do contato do fluxo de ar com a pele. A intensidade deste resfriamento varia em função da velocidade e temperatura do ar e umidade relativa.

Para o conforto térmico do usuário influenciam tanto a ventilação que promove o resfriamento fisiológico do usuário, também denominada ventilação de conforto, quanto a ventilação que promove o resfriamento do edifício.

Corbella e Corner (2011) concordam que a ventilação, em ambientes não climatizados, é um fator essencial para manter o usuário em condições mínimas de conforto para o clima quente e úmido, sendo que a mesma deve ser empregada, tanto para proporcionar conforto direto às pessoas (principalmente na presença de alta umidade), quanto para resfriar a construção. Indicando, para o resfriamento da construção, o aproveitamento da ventilação natural no período noturno, quando a temperatura externa tende a baixar. Interessante destacar que janelas com venezianas (Figura 17) podem propiciar o resfriamento da edificação no período noturno sem comprometer a segurança da moradia.

FIGURA 17 – Exemplos de janelas com venezianas.



Fontes: Munhoz (2012) e Piratininga (2011).

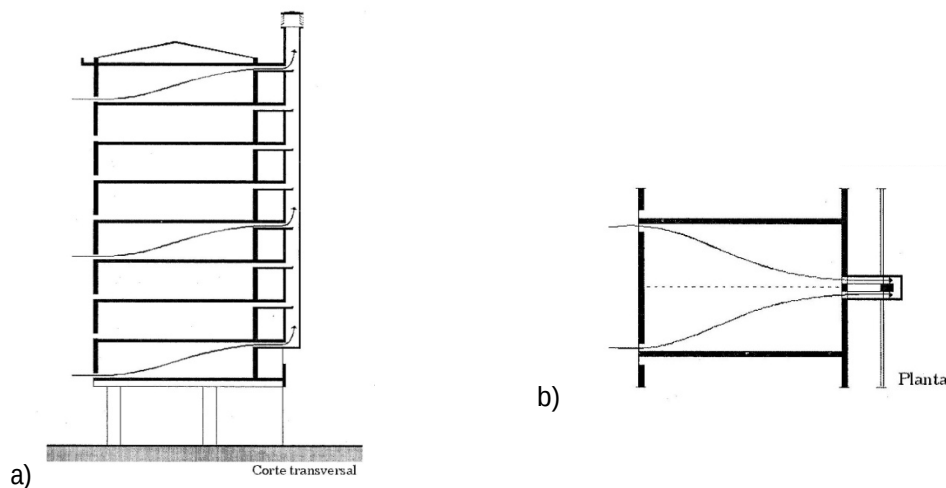
Bittencourt e Cândido (2010) ressaltam que para locais onde o vento possui direção estável e velocidade acima de 3m/s a ventilação natural é uma estratégia de refrigeração simples e eficiente, mas, se a temperatura do ar estiver muito elevada – acima de 34°C – a ventilação pode ser indesejada, e é importante considerar que, quando o resfriamento por ventilação for empregado é sensato prever algum esquema de ventilação mecânica para fazer frente aos períodos de calmaria.

O efeito chaminé pode ser usado como condicionante térmico passivo para os períodos de calmaria. A diferença de pressão – força motriz do deslocamento do ar – depende da diferença de temperatura entre o ar interno e o externo e da distância na vertical, entre as aberturas de entrada e saída do ar.

Toledo (1999) apresenta um esquema de ventilação natural para um edifício de andares (Figura 18), situada em clima quente e úmido:

Da parte superior dos vários ambientes, sai uma conexão que se liga a um grande duto vertical de ventilação, que termina acima da cobertura do prédio, com um aerador. A entrada de ar é feita por aberturas situadas na parte inferior da fachada oposta, onde incide o vento. O duto vertical pode ser pintado com uma cor escura, na parte exterior, permitindo assim o aquecimento do ar do interior do mesmo com o calor proveniente da absorção da radiação solar, durante o dia (TOLEDO, 1999, p. 142).

FIGURA 18 – Esquema de ventilação natural para um edifício por duto de ventilação. a) Corte; b) Planta.

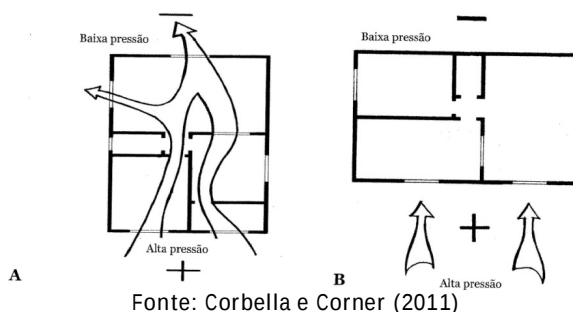


Fonte: Toledo (1999).

Deve-se ressaltar que o aproveitamento da ventilação natural no interior das edificações é determinado pela distribuição das pressões nas fachadas, que depende da velocidade e direção

do vento no exterior (Figura 19). A ventilação cruzada está ligada às condições nas quais um dado espaço é ligado por aberturas às áreas de pressão e sucção do exterior (MASCARÓ, 1991).

FIGURA 19 - a) Exemplo de ventilação cruzada e lateral, com aproveitamento das pressões negativas e positivas produzidas pelo vento. b) Exemplo da existência de vento no exterior sem ventilação interna.

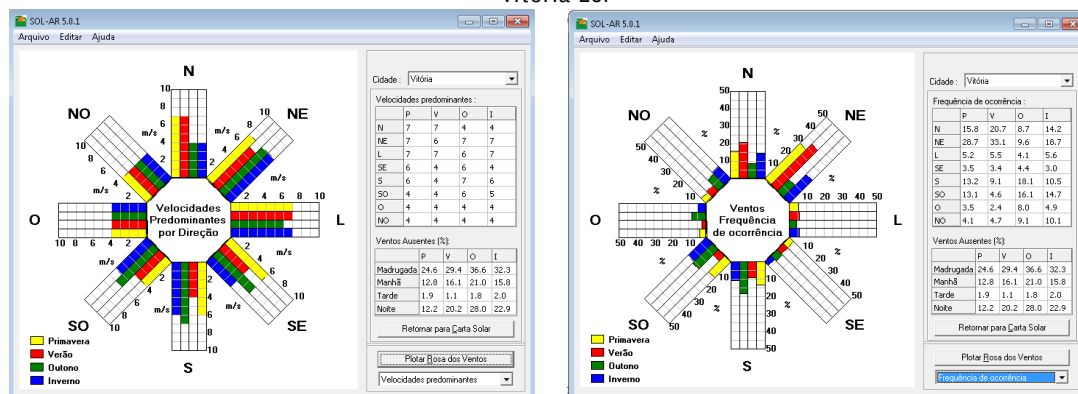


Fonte: Corbella e Corner (2011)

Essas pressões deveriam determinar o posicionamento das janelas de entrada e saída do ar, enquanto o padrão do fluxo do ar e sua velocidade no interior deveriam ser determinados pela área e tipologia das aberturas (CORBELLA; CORNER, 2011). Assim, na realidade é o projetista quem, consciente ou inconscientemente soluciona o problema de ventilação natural do edifício ao escolher a forma, dimensão e local de implantação das aberturas (TOLEDO, 1999).

Na concepção de um projeto, deve-se conhecer as fachadas com maior ou menor pressão, para se definir a localização das janelas na planta baixa. Para isso deve-se pesquisar a primeira e segunda frequência de ocorrência dos ventos na região (CORBELLA; CORNER, 2011). Para Vitória, os valores de velocidade do vento acima dos 3m/s descritos por Bittencourt e Cândido (2010) podem ser constatados na Rosa dos Ventos em todas as direções (Figura 20a), destacando-se a frequência de ocorrência dos ventos predominantes nas direções Nordeste e Norte (Figura 20b).

FIGURA 20 - a) Velocidades de ventos predominantes; e b) Frequência de ocorrência dos ventos para Vitória-ES.

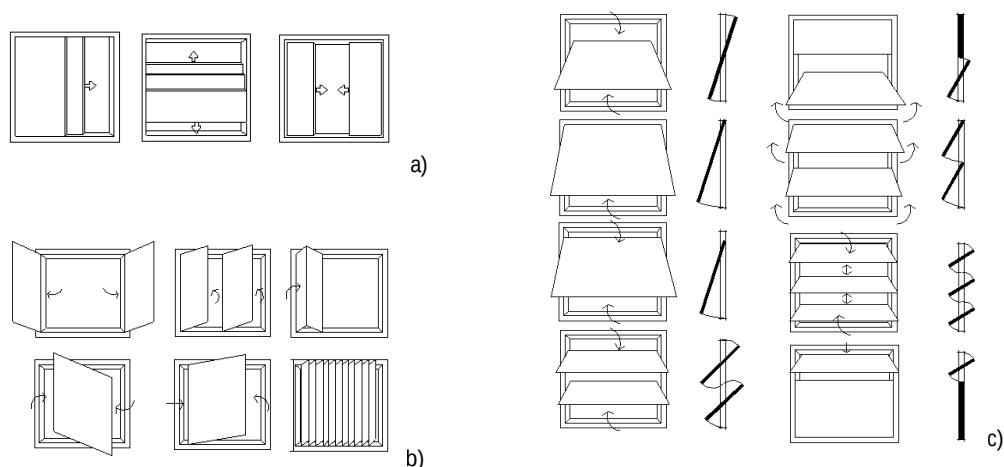


Fonte: Software Anlysis SOL-AR 5.0.1

Mascaró (1991) analisa os tipos mais usuais de janelas em relação à ventilação, considerando a área efetiva da abertura, a separação das correntes de ar frio e quente, a possibilidade de ser regulável pelo usuário e a distribuição de fluxo de ar pelo local. A autora considera que as diversas tipologias existentes são variações de três tipos básicos: de correr, pivotante horizontal e pivotante vertical.

Nas janelas de correr, a área de ventilação útil corresponde a 50% do tamanho da janela, contrariamente às pivotantes que possuem área de ventilação de 100% do vão. Além disso, as janelas pivotantes possuem maior gama de variações na regulação da abertura e direcionamento da ventilação. Sendo que as últimas serão mais eficientes dependendo do ângulo de abertura – ângulos abaixo de 30° não são muito indicados, pois sua área real de abertura é muito reduzida (Figura 21).

FIGURA 21 – Tipologias de janelas e ventilação. a) correr; b) pivotantes vertical e c) pivotante horizontal



Fonte: Adaptado de Mascaró (1991)

É de fundamental importância frisar que o projeto que vise o bom aproveitamento da ventilação natural deve considerar estes e outros aspectos, como por exemplo, a rugosidade da fachada, e elementos do entorno da edificação como edificações vizinhas, arborização e topografia local.

Em relação às trocas térmicas, Barroso-Krause (2011) define que estas variam, no interior das edificações, basicamente a partir de três fontes significativas:

- Em função da troca ocorrida entre o envelope construtivo e as superfícies internas;
- Por absorção da radiação solar direta nas superfícies internas; e

- Por absorção e emissão de calor gerado por máquinas térmicas nas superfícies no interior da edificação.

Em relação ao ganho térmico devido às trocas ocorridas entre o envelope e o interior da edificação, a ABNT NBR 15220-2 estabelece procedimentos para o cálculo das propriedades térmicas, dentre as quais a transmitância e capacidade térmica de elementos e componentes de edificações. A ABNT NBR 15220-3 apresenta recomendações e diretrizes construtivas para adequação das propriedades térmicas de paredes externas e coberturas para cada Zona Bioclimática (ZB). Para a ZB8 a ABNT NBR 15520-3 recomenda que as vedações externas sejam leves e refletoras, com transmitância térmica de até $3,0 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Já a ABNT NBR 15575-4 estabelece como requisito de desempenho das paredes externas uma limitação maior em relação a este valor (Tabela 1).

TABELA 1 - Adequação de paredes externas - valores máximos admissíveis para Zona Bioclimática 8

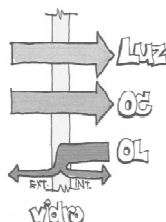
Transmitância Térmica $U \text{ (W/m}^2\cdot\text{K)}$	Capacidade Térmica $C \text{ (J/K)}$	Absortância α
$U \leq 2,50$	Sem requisitos para ZB 8	0,6

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15575-4

Os materiais de construção opacos refletem a parcela da radiação solar que não absorvem. A parcela refletida depende da absortância (α) do material para a radiação solar, e a parcela absorvida depende da emissividade (ϵ).

Os materiais translúcidos, como o vidro, deixam a radiação solar atravessá-los (ondas curtas), permitindo que alcance piso e paredes, mas impedem, por sua constituição, o sentido contrário de volta (ondas longas), ou seja, a radiação na faixa do infravermelho absorvida pelo ambiente não retorna para o exterior novamente (Figura 22). É o princípio do tão conhecido efeito-estufa (BARROSO-KRAUSE, 2011). Assim, é de fundamental importância controlar as parcelas de radiação em fechamentos transparentes, pois estas serão contidas no interior da edificação.

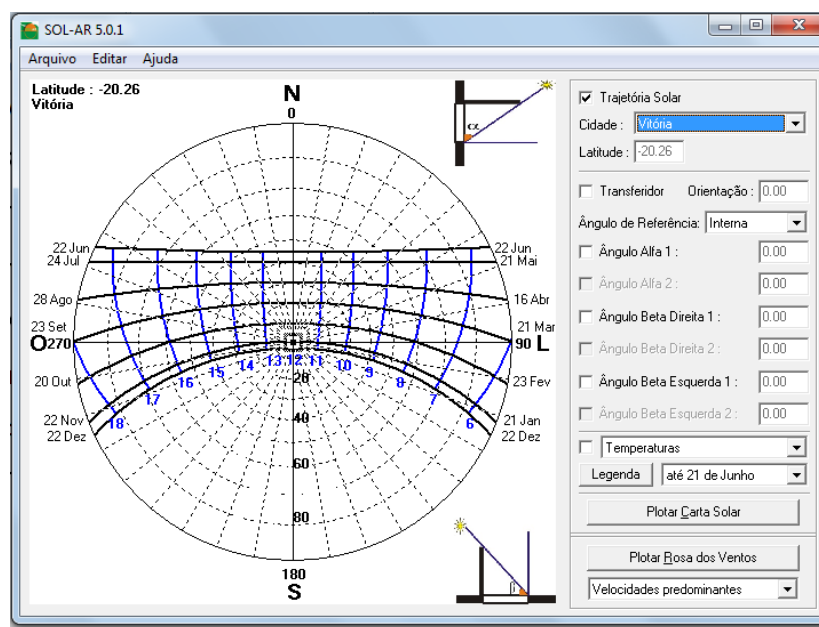
FIGURA 22 - Comportamento do vidro simples à onda curta, onda longa e luz visível.



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2004).

A importância da orientação solar da edificação, em função da radiação térmica, está associada à latitude do local, a Figura 23 apresenta a carta solar de Vitória (LAT 20°26' S) com a representação da trajetória solar ao longo do ano, onde se observa que nas orientações Leste e Oeste ocorre a incidência da radiação solar no período da manhã e da tarde, respectivamente, durante todo o ano. Devido ao movimento de translação da Terra ao redor do Sol a incidência solar nas orientações Norte e Sul ocorre de maneira distinta para o verão em relação aos demais períodos do ano. Nos meses de março a setembro, as fachadas com orientação Norte recebem incidência solar durante todo o dia, enquanto que as fachadas com orientação Sul não recebem sol.

FIGURA 23 - Carta Solar da cidade de Vitória



Fonte: Software Anlysis SOL-AR 5.0.1

A carta solar de Vitória indica que nos meses de fevereiro e outubro as fachadas com orientação Norte recebem sol de 8h00 as 16h00, enquanto que as fachadas com orientação Sul recebem o sol no começo da manhã e fim da tarde. Em contrapartida nos meses de novembro a janeiro as fachadas com orientação Norte não recebem radiação solar, pois esta passa a incidir nas fachadas com orientação Sul durante todo o dia. Desta forma pode-se concluir que para a localidade de Vitória, a incidência solar é preocupante para todas orientações, seja em função dos longos períodos de incidência solar – como a fachada Norte –, seja pela época do ano, mesmo que para períodos menores, porém de calor intenso, como a fachada Sul.

Considerando a necessidade de proteção solar das janelas, Mascaró (1991) coloca que venezianas que possam fechar-se quase totalmente e abrir-se sempre protegidas da radiação solar e térmica

possuem a vantagem de controle do ar quente nas horas mais críticas, e também de permitem um mínimo de ventilação, indispensável nos climas quentes e úmidos. Bittencourt e Cândido (2010) concordam e afirmam que qualquer que seja a tipologia de abertura adotada um alto grau de porosidade é desejado.

Na Figura 24 são apresentados alguns exemplos de janelas com venezianas externas, em PVC, alumínio e madeira, com diferentes controles de aberturas, e de direcionamento da ventilação, estas esquadrias permitem tanto a proteção solar quanto o aproveitamento da ventilação natural.

FIGURA 24 - Exemplos de janelas com venezianas externas.



Fontes: Persianas Brasil (2014); Trovata (2013); Casa.com.br (2006).

2.2.2 Janelas x desempenho termo-energético

Monteiro e outros (2012) investigaram o percentual de área de janela envidraçada em edificações brasileiras durante o século XIX e XX, com método baseado nos parâmetros do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). Os autores destacaram que do início da colonização até fins do século XIX, verifica-se uma proporção das janelas bem definidas nas edificações, com uma constância em torno de 20% nos percentuais de aberturas em relação às fachadas. É provável que esse fato seja

decorrente das exigências que os Códigos de Posturas Municipais impunham de dimensões exatas destas janelas e percentuais mínimos das áreas destas aberturas em relação à fachada total. Mas, com o fim dos Códigos de Posturas Municipais e o início dos Códigos de Obras, que impõem apenas uma área mínima de abertura e, paralelamente com a evolução dos materiais e técnicas construtivas, as janelas ganharam real expressão e significativa importância nas fachadas das edificações. Assim observou-se um aumento expressivo no percentual de área de janela (área envidraçada) para as edificações analisadas pelos autores. As edificações do século XX apresentaram um expressivo percentual de área de abertura (área envidraçada) na fachada total com percentual entre 48% a 99,6%, enquanto que as edificações do século XIX apresentaram percentual de 13,3% a 21,3%. Os autores destacam ainda que outros estudos relatam que, junto com essa mudança, surgiram as dificuldades relacionadas ao aumento no consumo energético das edificações, e concluem a importância de se minimizar os impactos causados por áreas envidraçadas, como o ofuscamento e ganho solar passivo, através de um projeto eficiente e correto dimensionamento (MONTEIRO et. al., 2012).

Observa-se que a preocupação com o consumo energético surgiu a partir dos anos 70 do século passado, principalmente com a constatação da finitude dos recursos e da economia de algumas nações alicerçada em modelos com matrizes energéticas não renováveis (VEIGA, 2005). No Brasil, essa preocupação foi intensificada com a denominada “Crise do Apagão” ocorrido em 2001, quando sucedeu a interrupção de fornecimento de energia em várias regiões do Brasil. Esse fato alertou para a fragilidade também de modelos energéticos alicerçados em uma matriz renovável – como no caso das hidrelétricas brasileiras –, visto que a crise foi diagnosticada como decorrente da ausência de chuvas e do despreparo do país para o crescimento econômico (TOLMASQUIM, 2000).

Sorgato, Versage e Lamberts (2011a) analisaram a influência da área de ventilação no desempenho térmico de edificações residenciais multifamiliares através de simulação computacional, com o programa *EnergyPlus*. Foi analisado o desempenho térmico de um dormitório orientado a Norte, para os pavimentos térreo, intermediário e cobertura, para as zonas ZB3 e ZB8, através dos graus-hora de resfriamento (GH_R). As aberturas foram dimensionadas com um percentual de 15% de área de abertura em relação à área do ambiente, e a área de ventilação correspondeu a 25%, 50% e 100% da área de abertura da janela. Os autores concluíram que a área de ventilação tem influência significativa no desempenho térmico dos ambientes de permanência prolongada de edificações residenciais, sendo que os percentuais de

área de ventilação em relação à área útil que apresentaram melhor desempenho estão na faixa de 8% a 15% da área do útil do ambiente.

Uma abordagem sobre a importância do dispositivo de sombreamento nas janelas de dormitórios em edificações residenciais multifamiliares foi analisada pelos mesmos autores. As aberturas foram dimensionadas com um percentual de 15% de área de abertura em relação à área do piso, sendo a área destinada à ventilação de 50% da área da abertura, e o sombreamento das aberturas foi modelado, no *software EnergyPlus*, através de veneziana horizontal, com refletância de 50%. As análises foram realizadas através dos graus-hora de resfriamento (GH_R) para os apartamentos do pavimento intermediário (3º pav) para as orientações Norte, Sul, Leste e Oeste. Os autores concluíram que o dispositivo de sombreamento influencia significativamente na temperatura operativa do ambiente, onde os resultados para o dormitório sem dispositivo de sombreamento mostraram diferenças de até 1,5°C acima das temperaturas obtidas para o dormitório com dispositivo (SORGATO; VERSAGE; LAMBERTS, 2011b).

A este respeito, Corbella e Corner (2011) alertam que nos trópicos, onde as construções precisam de aberturas grandes para assegurar uma boa ventilação, deve-se controlar a luz que entra, também para não criar ofuscamento, altos contrastes e, principalmente, o ingresso de radiação solar direta, que afetará o conforto térmico.

Nico-Rodrigues (2008) avaliou a satisfação do usuário relacionado a tipologia de janela para o favorecimento da ventilação natural para o conforto térmico (Figura 25). Os resultados obtidos indicaram benefícios na utilização de venezianas nas esquadrias, possibilitando a passagem do ar, e reafirmaram a janela como componente imprescindível para o conforto térmico das edificações.

FIGURA 25 - Modelos de janelas analisados por Nico-Rodrigues



Modelo A



Modelo B

Fonte: Nico-Rodrigues, 2008.

A partir do exposto, confirmou-se a importância do componente janela para o desempenho térmico do ambiente edificado. Destaca-se a importância do aproveitamento da ventilação natural e sombreamento das janelas.

Assim, considerando-se a tendência do mercado construtivo em produzir tipologias de edificações multifamiliares sem o adequado tratamento das fachadas, e com o intuito de avançar nos estudos relativos ao desempenho de esquadrias, este estudo propõe uma análise comparativa, envolvendo os modelos de janelas, estudados anteriormente por Nico-Rodrigues (2008) por ser um estudo direcionado para a cidade de Vitória e abordar um modelo com panos em vidro e outro com venezianas.

2.3 Conforto Adaptativo

Sentir-se confortável é talvez a primeira sensação procurada pelo ser vivo. Qualquer bebê confortável ressona ou brinca tranquilo. À medida que esse equilíbrio fisiológico-ambiental vai se rompendo, dá sinais claros de agitação e descontentamento. Cada um de nós é incapaz de descrever, quando confortável, os limites ou as características desta sensação. Entretanto, ao rompimento deste estado, conseguimos descrever se tratar de um ruído, do excesso – ou falta – de calor, da ausência ou excesso de luz que nos incomoda. Depreendemos daí que só existe um conforto ambiental, global e indefinível (BARROSO-KRAUSE, 2011, p. 14,15).

Barroso-Krause (2011) explicita a dificuldade de definição dos parâmetros de conforto ambiental, caracterizado frequentemente a partir do rompimento deste estado a partir de fontes físicas e psicológicas de desconforto. A base conceitual do conforto ambiental inclui diversos aspectos como o conforto lumínico, acústico, ergonômico, entre outros aspectos, ressaltando que esta pesquisa possui como foco os aspectos relacionados ao conforto térmico.

O conforto térmico pode ser definido como a condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico. Desta forma, tanto as diferenças nas variações fisiológicas quanto nas variações psicológicas individuais são aspectos que impedem a definição de um nível de satisfação integral para todos os usuários de um mesmo espaço, visto que as condições necessárias para obtenção do conforto não são iguais para todos (AMERICAN... 2004).

A necessidade de mensurar a sensação de conforto térmico experimentada pelas pessoas quando expostas a determinadas combinações de variáveis ambientais e pessoais levou ao desenvolvimento de uma série de estudos sobre os índices de conforto térmico.

Um método tradicionalmente aceito – o Predicted Mean Vote (PMV) ou Voto Médio Predito – foi desenvolvido pelo professor dinamarquês Ole Fanger e publicado em 1970. Este modelo baseia-se no balanço de energia do corpo humano em estado estacionário e permite a previsão da sensação térmica e satisfação de conforto do corpo humano, como uma função de parâmetros relacionados ao ambiente interno – temperatura interna, velocidade do ar, umidade, temperatura radiante média – e aos ocupantes, considerando a atividade e vestuário (FANGER, 1970).

O modelo de Fanger, por ter sido desenvolvido em ambientes em condições micro-climáticas controladas – típica de edifícios com sistemas de climatização –, não se mostrou adequado para se avaliar e mensurar as condições necessárias para conforto térmico em edifícios ventilados naturalmente, sem sistemas de climatização artificial, sendo para esta situação indicado o conforto adaptativo como modelo preditivo (ASHRAE, 2004; ROAF; CRICHTON; NICOL, 2009; NICOL; HUMPHREYS, 2010).

O modelo adaptativo de conforto térmico é uma abordagem que não parte do pressuposto da teoria da troca de calor, mas das adaptações comportamentais que as pessoas realizam para ficarem confortáveis. As pessoas se adaptam ao ambiente, fazendo alterações em suas vestimentas, posturas e atividades; e também adaptam o seu ambiente para a sua exigência atual com ações como abrir/fechar janelas. Por meio de tais processos pessoais busca-se o equilíbrio dinâmico com o meio envolvente (HUMPHREYS; RIJAL; NICOL, 2013).

A metodologia do conforto adaptativo considera a temperatura como fator primordial para a determinação da aceitabilidade de conforto térmico do usuário para um determinado clima e edifício, a partir de experimentos de campo em espaços naturalmente ventilados, considerando-se distintas experiências térmicas de disponibilidade para o controle e de mudanças resultantes das expectativas dos ocupantes.

2.4 Desempenho e conforto térmico para edifícios ventilados naturalmente

Atualmente o conforto adaptativo é amplamente discutido e aceito por uma parcela considerável da comunidade científica, fato confirmado principalmente pelas normas ASHRAE 55 e EN 15251, atualmente válidas, terem sido elaboradas considerando este modelo.

Apesar de partirem da mesma base conceitual, relacionando intervalos de temperatura operativa de conforto para o interior da edificação com valores externos de temperatura, estas normas são bastante distintas entre si. Essa diferença verifica-se, pela classificação da edificação: enquanto a ASHRAE 55 considera os edifícios ventilados naturalmente, a EN 15251 considera os edifícios em modo free-running, ou seja, edifícios não climatizados artificialmente, em que pode ser considerada a ventilação natural e mecânica.

O aspecto que mais se destaca na diferença entre estas normas é o cálculo da temperatura externa, visto que a ASHRAE 55 considera em seu diagrama a temperatura média mensal externa, e a EN 15251 utiliza a média ponderada exponencialmente da temperatura externa (NICOL; HUMPHREYS, 2010). Segundo os autores, o valor da média mensal é aberto a erros de interpretação, pois a temperatura pode ser muito variável dentro de um mês, resultando em alterações na temperatura. E a média ponderada exponencialmente é calculada de forma a dar maior ênfase aos valores de temperatura dos dias mais recentes, conferindo pesos maiores a estes e menores aos valores mais antigos.

Os dados da EN 15251 foram coletados a partir de questionários e medições em países europeus, portanto sua utilização para o clima brasileiro não é adequada. A ASHRAE 55 foi estruturada a partir de uma base de dados global, além disso, esta norma tem sido utilizada por vários pesquisadores brasileiros (CÂNDIDO et. al., 2011; CÂNDIDO; DEAR; LAMBERTS, 2011; ANDREASI; LAMBERTS; CÂNDIDO, 2010) assim, este estudo investigará a norma americana como referencial de conforto adaptativo.

No contexto brasileiro, em 2005 foi aprovada a ABNT NBR 15220 relativa ao desempenho térmico de edificações. Entre outros aspectos, suas partes normatizam o zoneamento bioclimático brasileiro associado às diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social, através de estratégias de condicionamento térmico passivo.

Sancionada em 2008, hoje em sua quarta edição – porém com validade a partir de 19/07/2013 –, a ABNT NBR 15575 estabelece requisitos e critérios de desempenho aplicáveis às edificações habitacionais, determinando as condições de habitabilidade através de requisitos dos usuários expressos por diversos fatores, dentre os quais o desempenho térmico dos ambientes.

As normativas brasileiras apresentam para a análise do desempenho da edificação, um método prescritivo – que descreve os critérios para a avaliação do desempenho térmico –, e outro que

utiliza a simulação computacional, sendo tais alternativas propostas pela ABNT NBR 15575-1. Destaca-se que o foco desta norma está nos requisitos do usuário para o edifício habitacional e seus sistemas, voltado para seu comportamento em uso, não sendo direcionado para a prescrição de como os sistemas devem ser construídos, caracterizando-se assim como uma norma complementar às prescritivas sem, no entanto substituí-las (ASSOCIAÇÃO..., 2013a).

Tendo em mente que a norma de desempenho é estabelecida para atender aos requisitos do usuário (qualitativos), através da definição de critérios (quantitativos) e métodos de avaliação, no caso do desempenho térmico, os requisitos do usuário referem-se ao conforto térmico, e o método de avaliação deveria permitir a mensuração do atendimento a tal requisito. No entanto, constata-se que a ABNT NBR 15575-1 não aborda ou recomenda indicadores de conforto térmico, atendo-se a critérios de desempenho térmico sem, no entanto, vincular estes critérios a referenciais de conforto.

2.4.1 ABNT NBR 15575

De maneira geral, a norma de desempenho é definida como o conjunto de requisitos e critérios estabelecidos para uma edificação habitacional e seus sistemas, com base em requisitos do usuário, independentemente de sua forma ou dos materiais constituintes. Os requisitos de desempenho são definidos como as condições que expressam qualitativamente os atributos que a edificação habitacional e seus sistemas devem possuir a fim de que possam atender aos requisitos do usuário, e os critérios de desempenho. Entende-se como critérios de desempenho às especificações quantitativas dos requisitos de desempenho, expressos em termos de quantidades mensuráveis, a fim de que possam ser objetivamente determinados (ASSOCIAÇÃO..., 2013a).

A ABNT NBR 15575-1 estabelece requisitos de desempenho térmico para o verão, onde são avaliados valores máximos de temperaturas; e para o inverno, onde são avaliados valores mínimos de temperatura, com exceção das zonas 6,7 e 8 em que não há critério estabelecido para as condições de inverno.

O requisito de desempenho térmico para o verão consiste em condições térmicas para o interior do edifício habitacional, com temperaturas menores ou iguais às do ambiente externo, à sombra, para o dia típico de projeto de verão, sendo este definido pela ABNT NBR 15575-1 simplesmente como: o dia mais quente do ano, segundo a média do período dos últimos 10 (dez) anos. A norma

apresenta dados de dias típicos de projeto de verão para algumas cidades brasileiras, inclusive para Vitória, cujo valor de temperatura máxima diária é de 34,6°C.

O critério definido na norma para a avaliação do desempenho térmico para o verão considera a análise por simulação computacional e define os valores máximos diários da temperatura do ar no interior dos recintos de permanência prolongada, como salas e dormitórios, desconsiderando a presença de fontes internas de calor, como ocupantes, lâmpadas e outros equipamentos em geral. A classificação dos níveis de desempenho (Tabela 2) como mínimo, intermediário e superior é atingida ou não, de acordo com a diferença encontrada entre os valores máximos de temperatura do ar externo e interno (ASSOCIAÇÃO..., 2013a).

TABELA 2 - Classificação dos níveis de desempenho de acordo com a NBR 15575-1, sendo M = mínimo; I = intermediário e S = superior.

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M	$T_{i,máx.} \leq T_{e,máx.}$	$T_{i,máx.} \leq T_{e,máx.}$
I	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 2 \text{ °C})$	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 1 \text{ °C})$
S	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 4 \text{ °C})$	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 2 \text{ °C})$ e $T_{i,mín.} \leq (T_{e,mín.} + 1 \text{ °C})$
$T_{i,máx.}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius. $T_{e,máx.}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius. $T_{i,mín.}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius. $T_{e,mín.}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius. NOTA Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.		

Fonte: ABNT NBR 15575-1

2.4.2 RTQ-R

Destaca-se como uma importante iniciativa do governo brasileiro voltada para a eficiência energética das edificações aliada ao conforto ambiental, a criação do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), que objetiva incentivar a racionalização da produção e consumo de energia elétrica. A metodologia para a classificação do nível de eficiência energética dos edifícios comerciais, de serviços e públicos foi publicada em 2009 e revisada em 2010, ano em que também foi publicada a metodologia para classificação dos edifícios residenciais.

O Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais - RTQ-R (INMETRO, 2010) estabelece como metodologia de avaliação de desempenho termo-energético para os procedimentos que utilizam simulação computacional da

edificação naturalmente ventilada, o indicador graus-hora de resfriamento (GH_R) para os ambientes de permanência prolongada da unidade habitacional.

O GH_R é representado pelo somatório da diferença entre a temperatura operativa horária e a temperatura base de 26°C para resfriamento, conforme a Equação 1:

$$GH_R = \sum (T_o - 26^\circ\text{C}) \quad (1)$$

GH_R : Graus-hora para resfriamento
 T_o : Temperatura operativa horária

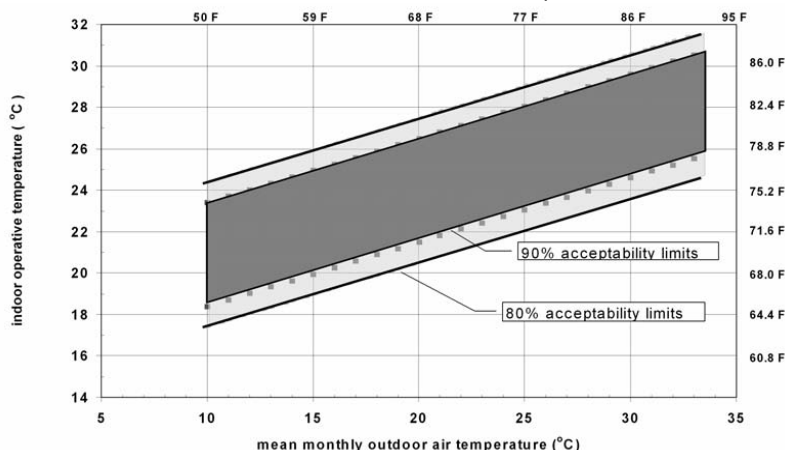
Fonte: INMETRO (2010)

Idealizado para calcular o consumo de energia de uma edificação, mesmo para o caso de edificações ventiladas naturalmente, o Indicador de graus-hora para resfriamento (GH_R) utiliza uma temperatura base como referencial para comparações, ou seja, é tomado um único valor que teoricamente corresponderia à temperatura de conforto.

2.4.3 ASHRAE 55

O modelo de conforto adaptativo da ASHRAE 55 para espaços naturalmente ventilados pressupõe que as condições térmicas do espaço são controladas, principalmente, pelos ocupantes através de abertura e fechamento de janelas. Experimentos de campo demonstraram que as respostas térmicas dos ocupantes em tais espaços dependem, em parte, do clima exterior e pode diferir das respostas térmicas em edifícios com sistemas de climatização artificial, principalmente por causa das diferentes experiências térmicas, tais como mudanças de roupa, disponibilidade de controle, e mudanças nas expectativas dos ocupantes (AMERICAN... 2004; ROAF; CRICHTON; NICOL, 2009).

GRÁFICO 1 - Modelo de conforto adaptativo.



Fonte: ASHRAE 55

Derivado de uma base de dados global de cerca de 21.000 medições realizadas principalmente, em edifícios de escritórios, o diagrama do modelo de conforto adaptativo da ASHRAE 55 (Gráfico 1), relaciona as médias mensais de temperatura externa com valores internos de temperatura operativa – consideradas temperaturas de conforto – para os limites de 80% e 90% de aceitabilidade (BRAGER; DEAR, 1998).

Ressalta-se que o modelo adaptativo da ASHRAE 55 foi alvo de pesquisas para o clima brasileiro. Experimentos de campo realizados por Cândido e outros (2011) no clima quente-úmido do Brasil, registraram compatibilidade em relação à aceitabilidade térmica acima de 89%, dentro da faixa de temperatura de conforto prescrita na ASHRAE 55. Porém é salientado que para as condições climáticas brasileiras, o usuário necessitaria de valores mais elevados da velocidade do vento para aceitabilidade ao movimento do ar, quando comparados aos definidos pela normativa americana.

2.4.4 Frequência e Intensidade de Desconforto Térmico

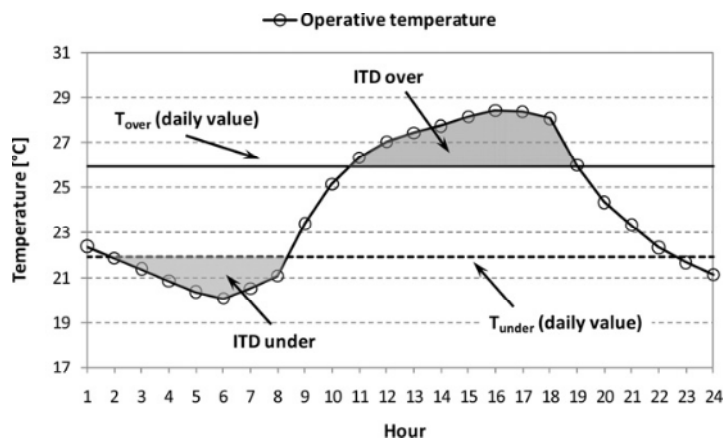
Seguindo a teoria do conforto adaptativo constante na norma Europeia - EN 15251, Sicurella, Evola e Wurtz (2012) propõem um método para mensurar a frequência das condições de conforto/desconforto no interior dos ambientes, através de um modelo estatístico para conforto térmico e visual. No que tange ao conforto térmico, os autores propuseram os índices Frequência de Conforto Térmico (FCT), Frequência de Desconforto Térmico (FDT) e a Intensidade de Desconforto Térmico (IDT). Tais indicadores foram propostos a partir do parâmetro físico considerado mais relevante para o conforto: a temperatura operativa.

Através da temperatura operativa é definida a Frequência de Conforto Térmico (FCT) que corresponde à percentagem de tempo, em um determinado período, durante o qual as condições de conforto térmico no interior da edificação são atingidas. Este indicador foi determinado considerando o modelo de conforto adaptativo constante na EN 15251, em que os valores de temperatura operativa para o conforto são delimitados por um intervalo, estabelecendo um limite superior para o conforto térmico – que acima deste limite os ocupantes teriam a sensação de calor –, e um limite inferior para a temperatura operativa que, abaixo deste valor a maioria das pessoas estaria em desconforto térmico, ou seja, com sensação de frio. Para este cálculo Sicurella, Evola e Wurtz (2012) apresentam um gráfico diário da temperatura operativa e sua oscilação ao longo do dia, lançando os limites superiores e inferiores de conforto e calculando a frequência de ocorrência das condições de conforto e desconforto ao longo do dia.

De acordo com o mesmo conceito, pode-se calcular a Frequência de Desconforto Térmico (FDT) para o calor e para o frio, como a percentagem de tempo durante o qual as condições de conforto não são atingidas (SICURELLA; EVOLA; WURTZ, 2012).

A Intensidade de Desconforto Térmico (IDT) é um indicativo que mensura o quanto um ambiente pode acumular calor ou frio, fora dos limites considerados confortáveis para as pessoas. O Gráfico 2 apresenta os limites de temperatura de conforto, sendo T_{over} – a temperatura limite para o calor; e T_{under} – a temperatura limite para o frio, e as áreas destacadas representam a ITD_{over} – a intensidade de desconforto térmico para o calor ($^{\circ}\text{C.h}$); e a ITD_{under} – a intensidade de desconforto térmico para o frio ($^{\circ}\text{C.h}$).

GRÁFICO 2 - Intensity of Thermal Discomfort (ITD) - Intensidade de Desconforto Térmico (IDT)



Fonte: Sicurella, Evola e Wurtz (2012)

A IDT para o calor é calculada de acordo com a Equação 2 (SICURELLA; EVOLA; WURTZ, 2012), a partir da integral da função relacionada à diferença entre a temperatura operativa e o limite superior de conforto, no intervalo de tempo em que a temperatura operativa ultrapassa este limite. Como este cálculo é referente à área do gráfico, esta também pode ser obtida por softwares específicos.

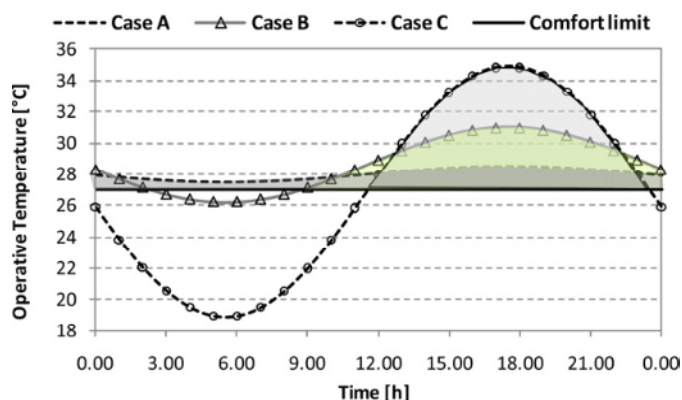
$$\begin{aligned}
 ITD_{over} &= \int_p \Delta T_{over}(\tau) \cdot d\tau \quad \text{where } \Delta T_{over}(\tau) \\
 &= \begin{cases} T_{op}(\tau) - T_{over} & \text{if } T_{op}(\tau) \geq T_{over} \\ 0 & \text{if } T_{op}(\tau) < T_{over} \end{cases} \quad (2)
 \end{aligned}$$

ITD_{over}: Intensity of thermal discomfort ($^{\circ}\text{C.h}$)
 T_{over} : upper limit of the thermal comfort range ($^{\circ}\text{C}$)
 T_{op} : operative temperature ($^{\circ}\text{C}$)
 τ : time (h)

Fonte: Sicurella, Evola e Wurtz (2012)

É interessante notar que a observação de apenas um destes índices, FDT ou IDT, isoladamente pode gerar uma interpretação superficial da situação de conforto/desconforto gerada para determinado ambiente. O Gráfico 3 exemplifica esta situação, em que se constata para o mesmo valor de IDT: Caso A: a temperatura operativa está constantemente acima do limite superior de conforto, determinando assim uma sensação estável e moderada de desconforto; Caso B: a flutuação da temperatura operativa em torno do limite superior, o qual é excedido durante uma parte considerável do dia, produzindo assim uma sensação de longa duração e menos moderada de desconforto; e Caso C: a temperatura operativa é normalmente menor do que o limite superior, mas uma variação acentuada ocorre durante um período limitado de tempo, determinando assim uma breve, porém intensa, sensação de desconforto (SICURELLA; EVOLA; WURTZ, 2012).

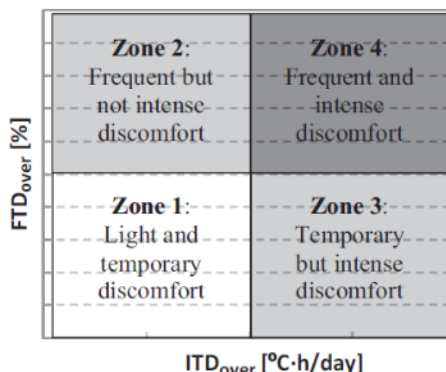
GRÁFICO 3 - Variações de FDT e IDT



Fonte: Sicurella, Evola e Wurtz (2012)

Levando este aspecto em consideração, Sicurella, Evola e Wurtz (2012) propõem um diagrama de Frequência x Intensidade de Desconforto Térmico para o calor (Figura 26) com intuito de uma visualização mais ampla das condições de conforto para o ambiente analisado. Este diagrama se organiza em quatro partes, sendo: Zona 1- leve e temporário desconforto; Zona 2- desconforto leve, porém frequente; Zona 3- desconforto intenso, porém temporário e Zona 4- intenso e frequente desconforto.

FIGURA 26 - Diagrama FDTxIDT



Fonte: Sicurella, Evola e Wurtz (2012)

Este método foi idealizado para ser aplicado em conjunto com softwares de simulação de desempenho termo-energético, com a finalidade de se avaliar o desempenho das edificações ainda na fase de projeto. Podendo ser utilizado para avaliar a influência do tamanho e da tipologia de uma janela no desempenho térmico dos ambientes internos, objeto deste trabalho.

2.4.5 Ferramenta de avaliação de desempenho

A metodologia do conforto adaptativo considera a temperatura como fator primordial para a determinação da aceitabilidade de conforto térmico do usuário para um determinado clima e edifício. Esta relação é especialmente útil ao ser aplicada quando um edifício está operando sem qualquer sistema de climatização artificial, e permite que os projetistas verifiquem, por meio de simulação térmica computacional, se um projeto é capaz de proporcionar conforto térmico durante uma estação quente, sem refrigeração mecânica (HUMPHREYS; RIJAL; NICOL, 2013).

Outro aspecto possibilitado pela simulação computacional é a identificação do efeito de um elemento da construção isoladamente, o que nem sempre é possível em um caso real. A utilização de ferramentas computacionais pode ocorrer na fase de projeto fornecendo a vantagem e a possibilidade de testar soluções mais eficientes, sem a necessidade de intervir na edificação. Além disso, a possibilidade de manipulação das variáveis envolvidas na edificação e o baixo custo contribuem ainda mais, para uma maior utilização destas ferramentas computacionais.

Muitos softwares nacionais e internacionais estão sendo desenvolvidos para o cálculo de cargas térmicas, avaliação das condições de conforto térmico e desempenho energético de edificações. Atualmente, existem diversas ferramentas computacionais para analisar o desempenho energético e o consumo de energia das edificações, sendo que a escolha depende da aplicação. O

DOE (Diretório de Ferramentas de Simulações Computacionais do Departamento de Energia dos Estados Unidos) apresenta vários programas de simulação desenvolvidos em diversos países, como por exemplo: BLAST, DOE 2.1, EnergyPlus, TRNSYS (Transient System Simulation Tool), Tas, TRACE, eQUEST, ECOTECT, PowerDomus, entre outros. (U. S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2013).

O EnergyPlus é um instrumento computacional para simulação do consumo de energia e desempenho térmico de edifícios, com amplo reconhecimento no meio científico, sendo ainda recomendado pela ABNT NBR 15575-1 e pelo RQT-R (INMETRO, 2010). Considerável parcela das pesquisas realizadas internacional e nacionalmente, tem utilizado esse software, graças à confiabilidade dos resultados que gera, apesar de apresentar interface de difícil utilização e interpretação.

O software DesingBuilder v3 utiliza a calculadora do Energy Plus v7 e permite analisar sistemas de aquecimento e resfriamento, possuindo o módulo CFD (Computational Fluid Dynamic), sendo recomendado pelo Procel Info (BRASIL, 2013) para modelagem de edifícios e simulações de desempenho termoenergético.

A validação de um programa é a principal forma de verificar a precisão dos resultados. Um método de validação amplamente aceito na atualidade e adotado pela ASHRAE 140 (ASHRAE, 2001) é o BESTest (Building Energy Simulation test), que consiste em um teste comparativo entre diferentes programas. Outra forma de validação, de acordo com Judkoff e Neymark (1998, apud WESTPHAL; LAMBERTS, 2004, p.39), é a verificação empírica, a partir do comparativo entre medições em um caso real e os resultados simulados.

Costa (2013) aplicou o BESTest comparando os resultados do DesignBuilder com o Energy Plus e concluiu que as diferenças obtidas nos consumos energéticos anuais não foram significativas, validando a utilização deste programa para a análise de desempenho termoenergético. Baharvand e outros (2013) validaram o DesignBuilder através da comparação dos resultados simulados com dados experimentais. Os autores examinaram a temperatura e a velocidade do ar e compararam a medição de dados com resultados do CFD atestando o uso deste software para prever valores de temperatura interna e velocidade do ar com boa precisão.

O recurso da simulação computacional é particularmente interessante, pois ao serem fixadas as condições de contorno do modelo virtual pode-se avaliar o quanto o desempenho no interior do ambiente será influenciado com a alteração apenas dos modelos de janela.

No entanto, para alcançar estes objetivos, se torna imprescindível uma análise minuciosa quanto à metodologia a ser adotada. Esta análise envolve, principalmente, a definição clara dos conceitos de conforto e desempenho térmico.

Observam-se, no panorama internacional, pesquisas que definem o conforto adaptativo como modelo preditivo para edifícios ventilados naturalmente, sendo inclusive base para importantes normas de conforto como a americana ASHRAE 55 e a europeia EN 15251. As normativas brasileiras, no entanto, definem parâmetros de desempenho das edificações sem referenciar índices de conforto, nem mencionam a respeito do conforto adaptativo.

A partir destas observações, foi realizado, num primeiro momento um teste da metodologia traçando-se um paralelo entre conforto e desempenho térmico para escolha dos procedimentos a serem adotados para o estudo comparativo entre os modelos de janela.

3. METODOLOGIA

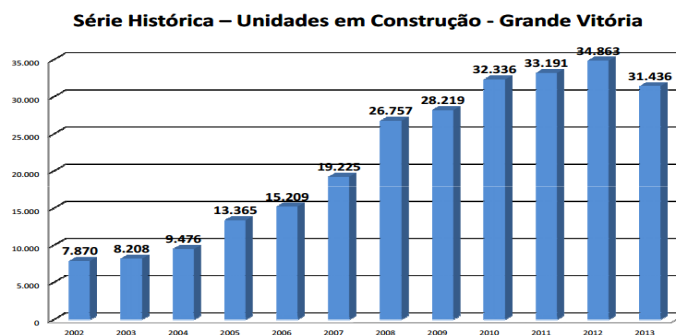
Neste capítulo é descrito o procedimento metodológico que norteou o desenvolvimento desta pesquisa. Inicialmente foi definido o objeto de estudo, caracterizando a tipologia arquitetônica e modelos de janelas adotados como parâmetros de estudo, e em seguir, são definidas as configurações utilizados no modelo virtual. É realizado um teste da metodologia para auxílio na escolha do método mais adequado para comparativo entre os modelos de janelas.

3.1 Recorte do objeto

Estudos da Serasa Experian apontam grande demanda no setor imobiliário brasileiro, apurando o crescimento do crédito imobiliário habitacional, que passou de R\$ 255,4 bilhões em dezembro de 2012 a R\$ 314,9 bilhões em agosto de 2013 (FOLHA..., 2013). Tal fato, pode ser atribuído a algumas iniciativas do Governo Federal com intuito de alavancar a economia através do setor da construção civil, em decorrência da crise econômica internacional ocorrida em 2008. Dentre estas iniciativas se destaca o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), consolidado pela Lei nº 11.977 de sete de julho de 2009 (CARDOSO; ARAGÃO; ARAUJO, 2011).

De maneira análoga ao ocorrido na maioria dos estados brasileiros, os dados fornecidos pelo 24º Censo Imobiliário do ES, realizado pelo Sindicato da Indústria da Construção Civil no Estado do Espírito Santo (SINDUSCON/ES, 2013), confirmam para a Grande Vitória um crescimento imobiliário (Gráfico 4), com destaque para o setor habitacional.

GRÁFICO 4 - Unidades em construção na Grande Vitória

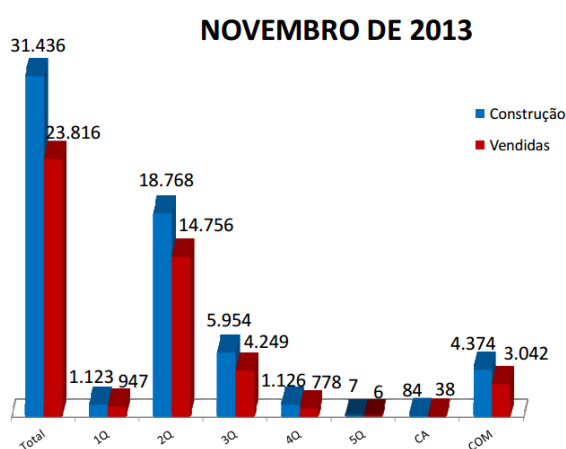


Fonte: SINDUSCON/ ES (2013)

Acentua-se a crescente produção e venda de imóveis com unidades habitacionais de dois quartos (Gráfico 5) em relação às demais tipologias habitacionais (SINDUSCON/ES, 2013). Considerando-se que este Censo realizou um levantamento em empreendimentos com área de construção superiores a 800 m², as tipologias com unidades habitacionais de dois quartos tratam-se de edificações multifamiliares.

GRÁFICO 5 - Unidades comercializadas na Grande Vitória por tipologia em 2013

UNIDADES EM CONSTRUÇÃO E VENDIDAS POR TIPOLOGIA



Fonte: SINDUSCON/ES (2013)

O aumento da produção de edificações multifamiliares com apartamentos de dois quartos pode ser justificada pelos financiamentos provenientes do PMCMV, visto que estes se destinam à unidades habitacionais com áreas restritas.

O formato deste programa possui como cerne o setor privado, que acessa os recursos do Fundo de Arrendamento Residencial (FAR), após aprovação dos projetos pela Caixa Econômica Federal (CEF). Tais empreendimentos imobiliários são elaborados de acordo com as exigências técnicas do MCMV, principalmente no que se refere ao valor de venda da unidade habitacional, de forma a se enquadrar nos perfis dos financiamentos. Considerando-se este fato, e, que a iniciativa privada visa o lucro em seus empreendimentos, o desempenho final de tais imóveis é muitas vezes prejudicado (CARDOSO; ARAGÃO; ARAUJO, 2011).

Considerando-se que o crescimento imobiliário na Grande Vitória está voltado principalmente para edificações multifamiliares de dois quartos, e que não há, em grande parte destas edificações, um controle no tocante ao desempenho térmico, este trabalho analisou tipologias de

janelas em edificações multifamiliares de dois quartos, visando ampliar as possibilidades de melhoria de desempenho térmico destas edificações.

O RTQ-R (INMETRO, 2010) propõe um modelo base de edificação residencial multifamiliar para simulação, em consonância com estes objetivos e o mesmo foi adotado como referencial para esta pesquisa (Figura 27).

FIGURA 27 - Planta baixa do modelo utilizado, com destaque para o cômodo analisado.



Fonte: Adaptado de Sorgato, Versage e Lamberts (2011).

Dentre os ambientes do modelo habitacional utilizado, a seleção do ambiente dormitório para análise final, foi motivada pelo fato de muitos dos imóveis residenciais multifamiliares em Vitória possuírem varandas na sala, inclusive os apartamentos de dois quartos. A tipologia da fachada com varanda sombreia a aberturando significativamente, auxiliando no melhor desempenho térmico do ambiente. Assim, visando à análise do ambiente de longa permanência sem interferências, optou-se pelo ambiente dormitório, considerando que é mais comum o desenvolvimento de projetos para unidades habitacionais de médio e baixo custo sem varandas para este cômodo.

Tendo em vista que o desempenho térmico dos dormitórios térreos sofre influência pelo contato com o solo, que aumenta a inércia térmica do ambiente e proporciona o resfriamento do ambiente. Já os dormitórios localizados na cobertura sofrem influência da área da cobertura, que aumenta os ganhos de calor através da envoltória (SORGATO; VERSAGE; LAMBERTS, 2011). Optou-se pela seleção do dormitório 1, do terceiro andar. Tal escolha se deu em função da busca de um andar intermediário, isolando a influência das perdas térmicas pelo solo e dos ganhos

térmicos pela cobertura, proporcionando maior influência da fachada, verificada no posicionamento de canto do cômodo, que recebe interferência simultânea de duas orientações nas paredes externas.

Em relação ao dimensionamento da área de abertura para iluminação e ventilação o Código de Edificações do Município de Vitória estabelece área mínima de 1/8 em relação à área de piso do ambiente, correspondendo este valor à área de iluminação natural e a metade deste à área de ventilação, que corresponde a 6,25% da área do piso.

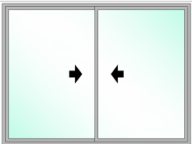
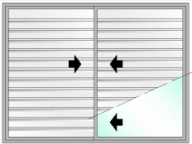
A ABNT NBR 15220-3 recomenda para ZB8 o uso de aberturas grandes e sombreadas, com dimensionamento da área de ventilação acima de 40% da área do piso do ambiente, e a ABNT NBR 15575-4 estabelece como área mínima para ventilação 8% da área do piso.

Verifica-se uma discrepância de valores na legislação consultada, identificada entre o valor sugerido pela ABNT NBR 15220-3 e os demais, sendo inclusive muito difícil a aplicação de uma área tão grande de abertura para ventilação, como sugerido por esta norma, principalmente em edificações multifamiliares, onde a área de paredes da fachada para cada cômodo é mais restrita.

Por outro lado, Corbella e Corner (2011) colocam que as áreas mínimas exigidas pelos códigos nem sempre garantem que as janelas cumpram as necessidades de conforto visual e de renovação de ar. Além disso, outros aspectos devem ser considerados, como por exemplo, a proteção solar dos vãos, principalmente quando o dimensionamento está acima do mínimo requerido. No entanto, a efetiva adequabilidade da janela também está associada à sua tipologia, à profundidade do cômodo, à incidência dos ventos dominantes na fachada, destacando-se que no caso de grandes aberturas para obtenção de maior ventilação, também se aumenta a carga térmica decorrente da radiação solar (CORBELLA; CORNER, 2011).

Levando tais aspectos em consideração, o dimensionamento da janela foi definido conforme ABNT NBR 15575-4, em que a área de abertura para ventilação corresponde a 8% da área do piso para região sudeste do Brasil. Desta forma, o dormitório 1 que possui 14,5m², a área de ventilação deve ser de 1,16m² e a área total da janela incluindo a estrutura em alumínio ficou com 2,379m², com dimensão final de 1,83 x 1,3m. Ambos os modelos possuem as mesmas dimensões diferindo a quantidade e materiais das folhas, conforme apresentado no Quadro 1.

QUADRO 1 – Caracterização dos modelos de janelas.

Modelo A	Modelo B
	
Janela de correr com duas folhas, com marco em alumínio e pano em vidro incolor, 6mm.	Janela de correr com três folhas, sendo uma com pano em vidro incolor, 6mm, com marco em alumínio; outra com pano em venezianas em alumínio vazante; e a terceira em veneziana em alumínio estanque.

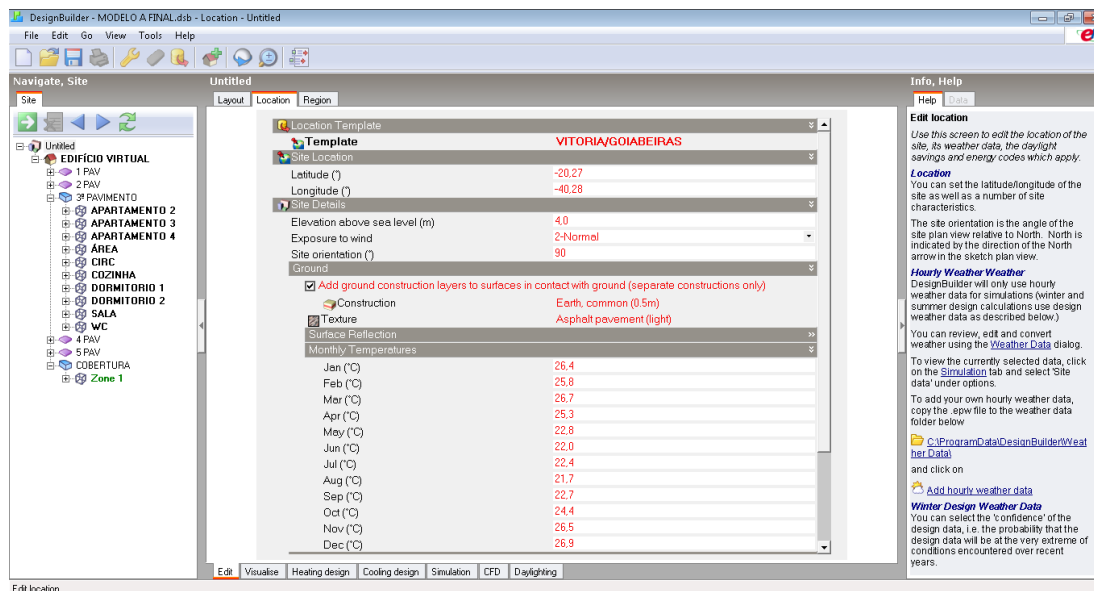
3.2 Configurações do modelo virtual

O processo de modelagem é complexo e implica na entrada de inúmeros dados. Assim, para evitar erros que pudessem comprometer os resultados, os processos de modelagem e simulação seguiram a recomendações de Venâncio (2009), para cada passo, ou seja: configuração do sítio; construção da geometria; configuração do modelo; modelagem; e simulações;

Na **configuração do sítio** foi utilizado o arquivo climático de Vitória² no formato EPW disponível no site do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Santa Catarina. Para a determinação das temperaturas de solo foram simuladas as temperaturas médias mensais do ar do sítio e registradas como temperaturas mensais do solo (Figura 28), de acordo com Venâncio (2009).

² Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-epw>. Acesso em 06 de fev de 2013.

FIGURA 28- Configurações das temperaturas de solo utilizadas



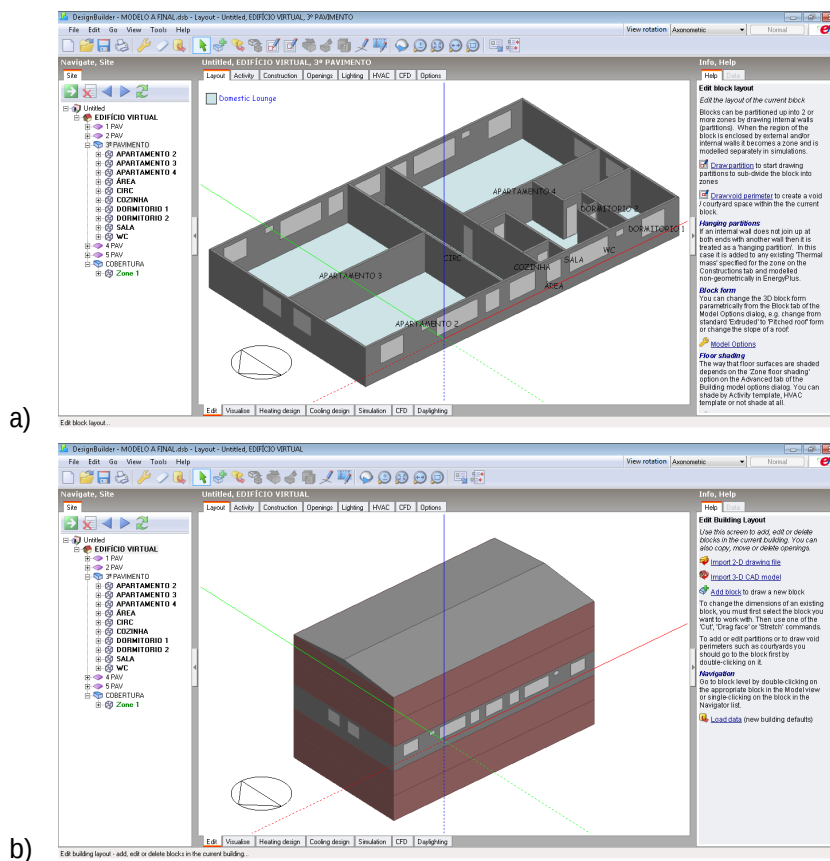
Fonte: DesignBuilder v3.

Para a **construção da geometria** do modelo virtual, foi considerada a habitação como um todo (apartamento tipo), sendo cada ambiente uma zona térmica, para uma edificação de 5 pavimentos (Figura 29).

Para o teste da metodologia foi adotada a orientação da janela para a fachada oeste seguindo a recomendação definida pela ABNT NBR 15575-1 para simulação de desempenho térmico, pois é considerada uma orientação crítica para qualquer latitude no território brasileiro. Para o comparativo entre os modelos de janela foram avaliadas as quatro orientações principais – Norte, Sul, Leste e Oeste.

A **configuração do modelo** é acessada na aba Building Model Options do software DesignBuilder e envolve ajustes das opções de modelagem e simulações. Como a análise proposta envolve desempenho térmico de ambientes não climatizados, foi configurado a “ventilação natural calculada”. Nesta configuração a ventilação e as taxas de infiltração de fluxo de ar são calculadas com base nas dimensões das aberturas e frestas, nas programações de operação das janelas e na flutuabilidade das pressões dos ventos.

FIGURA 29 - Modelo virtual a) Vista interna do 3º pavimento; b) vista externa do volume da edificação



Fonte: DesignBuilder v3.

O DesignBuilder configura automaticamente coeficientes de pressão do vento padrão, suficientes para os primeiros estudos de cenografias de ventilação natural porém, para estudos mais detalhados estes devem ser substituídos a partir de cálculos de CFD ou medições em túnel de vento.

As configurações da **modelagem** são realizadas nas abas Activity, Construction, Openings, Lighting e HVAC do DesignBuilder. Na aba Activity são inseridos dados de ocupação como densidade, tipo de atividades, metabolismo e uso de equipamentos como, por exemplo, computador e televisão.

Para o teste da metodologia foram utilizadas duas configurações diferentes de ocupação, considerando-se o ambiente ocupado e desocupado. A Tabela 3 apresenta resumidamente os dados de ocupação (aba Activity) e cargas térmicas (aba Lighting) utilizados no modelo. No caso da iluminação artificial foi configurado o uso de lâmpadas fluorescentes compactas de 7h à 22h. Para o comparativo entre modelos de janelas adotou-se a configuração de ambiente ocupado em com uso de iluminação artificial.

TABELA 3 - Ocupação e cargas térmicas comparadas

Ambiente desocupado		Ambiente ocupado e com cargas internas
– Densidade de ocupação	0 pessoas/m ²	0,14 pessoas/m ²
– Vestimenta	-	0,5 clo
– Metabolismo para a atividade leitura	-	115 W/pessoa
– Padrão de ocupação: 2 pessoas	-	100% de ocupação/24hrs
– Iluminação artificial	-	5 W/m ²
– Ar cond. e outros equipamentos	-	-

O programa usa componentes de construção (aba Construction) para calcular a transferência de calor pelas superfícies opacas de paredes, coberturas e pisos. Possui ainda uma biblioteca de materiais com banco de dados internacional, porém também é possível inserir dados relativos às propriedades de cada material utilizado na construção do modelo virtual.

Os sistemas construtivos são formados pela combinação de diversos materiais e o cálculo das propriedades térmicas destes sistemas é baseado em camadas associadas aos materiais correspondentes e suas espessuras. A Tabela 4 apresenta as camadas dos materiais das paredes e lajes utilizadas na modelagem da construção, cujas propriedades foram baseadas na ABNT NBR 15220-2.

TABELA 4 - Camadas das paredes e lajes utilizadas no modelo virtual

Camadas	Materiais	Espessura m	Condutividade w/m.k	Densidade Kg/m ³	Calor específico Kj/kg.k
PAREDES INTERNAS E EXTERNAS e = 0,014m	1ª Argamassa de emboço	0,025	1,15	2.000	1.000
	2ª Cerâmica Tijolo 8 furos	0,01	0,9	1600	920
	3ª Câmara de ar do tijolo	0,03	resistência térmica 0,16 M ² .K/W		
	4ª Cerâmica Tijolo 8 furos	0,01	0,9	1600	920
	5ª Câmara de ar do tijolo	0,03	resistência térmica 0,16 M ² .K/W		
	6ª Cerâmica Tijolo 8 furos	0,01	0,9	1600	920
	7ª Argamassa de emboço	0,025	1,15	2.000	1.000
LAJE ENTRE PAVTOS e = 0,014m	1ª Piso Cerâmico	0,01	0,9	1600	920
	2ª Contrapiso	0,025	1,15	2.000	1.000
	3ª Laje de concreto	0,08	1,75	2.200	1.000
	4ª Argamassa de reboco	0,025	1,15	2.000	1.000

Fonte: Elaborado a partir de ABNT NBR 15220-2

O procedimento normativo simplificado para avaliação da adequação de habitações quanto ao desempenho térmico conforme ABNT NBR 15575-4 considera, para paredes externas da edificação, os valores de capacidade térmica e transmitância térmica definidos pela ABNT NBR 15220-2. Assim, as propriedades térmicas dos materiais utilizados na elaboração do modelo virtual (Tabela 5) foram definidas de acordo com os dados disponibilizados pela norma supracitada.

TABELA 5 - Dimensões gerais e propriedades dos materiais da envoltória

Dimensões	
– Área do ambiente (dormitório)	14,5 m ²
– Área da janela	2,379 m ²
– Área de ventilação	1,16 m ²
Envoltória	
– Paredes: tijolos 8 furos quadrados (9x19x19 cm), emboço de 2,5 cm em ambas as faces	14cm (espessura)
– Transmitância térmica paredes (U)	1,76 W/(m ² .K)
– Lajes: concreto, reboco na face inferior, contrapiso e piso na face superior	14cm (espessura)
– Transmitância térmica das lajes (U)	2,7 W/(m ² .K)
– Emissividade (ε) das paredes e piso	0,9
– Absortância (α) das paredes e piso	0,3
– Transmitância térmica do vidro incolor 6mm (U)	5,77 W/(m ² .K)
– Transmitância térmica da moldura de alumínio da janela (U)	5,88 W/(m ² .K)

Fonte: Elaborado a partir de ABNT NBR 15220-2

Na aba HVAC são configurados sistemas de climatização artificial para aquecimento ou resfriamento, ventilação mecânica e ventilação natural. Como o foco deste estudo são ambientes não climatizados, optou-se pelo modo “ventilação natural”, com operação definida pelo cronograma de abertura das janelas.

As configurações adotadas para as **simulações** utilizaram a calculadora do EnergyPlus, disponível dentre as opções do DesingBuilder, que consideram os resultados por hora, sendo que o período de cada simulação foi de um dia, tendo como dado de saída a temperatura operativa. No momento de cada simulação foi selecionado o dormitório 1 e o dia avaliado.

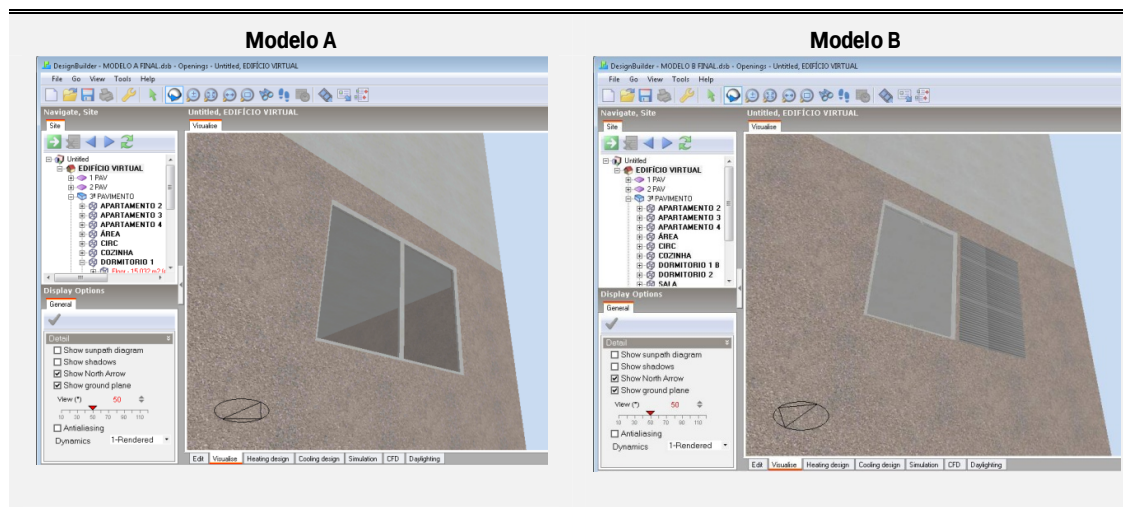
As janelas foram modeladas individualmente, ao nível da superfície das paredes. Seu dimensionamento considerou a área de abertura de 8% da área de piso definido como mínimo pela ABNT NBR 15575-4 para a ZB8, já mencionado anteriormente.

Os desenhos das janelas no DesignBuilder foram feitos individualmente ao nível da superfície da parede, ou seja não foi usado o modo automático de geração de janelas (default openings). Para o Modelo A selecionou-se na biblioteca de materiais a esquadria de vidro incolor 6mm, com estrutura de alumínio, e na aba openings foi definida a operação (schedule) de 50% de abertura correspondendo à abertura final possibilitada pelo modelo de correr. A janela foi configurada aberta durante o dia (08h00 – 21h00) e fechada durante a noite (21h00 – 8h00).

Para o Modelo B a modelagem foi configurada utilizando-se a janela de vidro e alumínio em 50% do vão e a veneziana em alumínio (vent) na outra metade do vão, considerando-se o mesmo tamanho final da janela (Figura 30). Para a folha em vidro foi definida a operação de 100% de abertura correspondendo à abertura final possibilitada pelo modelo de correr para esta folha, configurada aberta durante o dia (08h00 – 21h00) e fechada durante a noite (21h00 – 8h00). Para

a folha da veneziana foi definida a operação de 0% de abertura durante o dia, já que a folha de vidro estando aberta fecharia a folha veneziana. E o uso da veneziana foi configurado para o período noturno (21h00 – 8h00) visando evidenciar o aproveitamento da ventilação noturna para o resfriamento da edificação neste horário em que as temperaturas tendem a ser mais baixas.

FIGURA 30 – Visualização final dos modelos de janelas no DesingBuider



Não foram previstos quaisquer outros elementos sombreadores externos, tais como brises ou marquises; ou internos, como persianas, considerando o objetivo de se observar unicamente o comportamento dos modelos de janelas propostos pela pesquisa.

Resumidamente, as configurações gerais de materiais e dimensões do modelo virtual adotadas tanto para o teste da metodologia quanto para o comparativo entre modelos de janelas são basicamente as mesmas, as diferenças de configuração estão destacadas no Quadro 2.

QUADRO 2– Diferenças de configurações do modelo virtual adotadas para o teste da metodologia e comparativo entre janelas.

Diferenças de configuração	Teste da Metodologia	Comparativo entre janelas
Ocupação e ganhos internos	Testou-se a ocupação: ambiente ocupado e desocupado.	Considerou-se o ambiente ocupado e com cargas de iluminação artificial
Modelo de janela	Utilizou-se o Modelo A	Comparou-se os Modelos A e B.
Orientação da janela	Oeste	Norte, Sul, Leste e Oeste.

3.3 Teste da Metodologia

A revisão bibliográfica reafirmou a simulação computacional como instrumento válido para a análise de desempenho térmico, sendo ferramenta recomendada pela ABNT NBR 15575, pelo RTQ-R (INMETRO, 2010), pela ASHRAE 55 e EN 15251, além de ser amplamente utilizada por pesquisadores em todo o mundo. Optou-se pelo software DesingBuilder, justificado nos itens 1.3 e 2.4.5 desta pesquisa.

Os métodos de avaliação de desempenho térmico passíveis de serem aplicados para o objeto em questão são:

- Método de avaliação da ABNT NBR 15575;
- Método de desempenho termo-energético do RTQ-R (INMETRO, 2010);
- Modelo de Conforto Adaptativo da ASHRAE 55;
- Índices FDT e IDT (SICURELLA; EVOLA; WURTZ, 2012);

Dentre estes, observa-se que a metodologia do RTQ-R (INMETRO, 2010) aborda o desempenho termo-energético da edificação, relacionando-o a uma temperatura base, independente de referenciais de temperaturas de conforto. Esse conceito não corresponde ao centro de interesse desta pesquisa, que é justamente avaliar a melhora das condições de conforto do usuário.

A norma de desempenho brasileira visa em seu conceito base o atendimento aos requisitos do usuário (qualitativos), através da definição de critérios (quantitativos) e métodos de avaliação. No caso do desempenho térmico, os requisitos do usuário referem-se ao conforto térmico, e o método de avaliação deveria permitir a mensuração do atendimento a tal requisito. No entanto, constata-se que a ABNT NBR 15575 não aborda ou recomenda indicadores de conforto térmico.

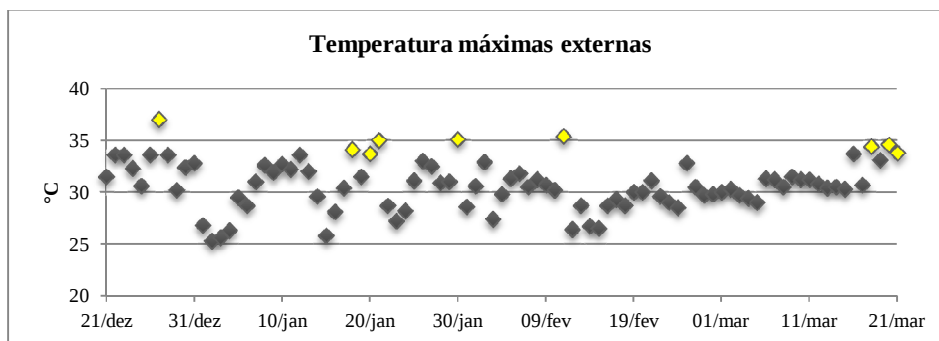
A norma americana ASHRAE 55 foi elaborada com base em pesquisas de aceitabilidade térmica dos ambientes pelo usuário considerando o modelo de conforto adaptativo (BRAGER; DEAR, 1998; NICOL; HUMPHREYS, 2010), observando-se que as temperaturas de conforto prescritas neste modelo são compatíveis com o clima quente e úmido do Brasil (CÂNDIDO et. al., 2011). Dessa forma, o teste da metodologia consistiu na investigação dos parâmetros de desempenho térmico para ambientes ventilados naturalmente definidos na ABNT NBR 15575 para simulação computacional, com foco no conforto térmico do usuário utilizando como modelo preditivo o conforto adaptativo proposto pela ASHRAE 55 e um dos índices propostos por Sicurella, Evola e Wurtz (2012), no caso a Frequência de Desconforto Térmico (FDT).

3.3.1 Variáveis de teste

O teste da metodologia foi delineado a partir da observação de pontos identificados na metodologia de avaliação de desempenho térmico da ABNT NBR 15575 em comparação com a literatura, destacando-se como principais variáveis analisadas o **período de simulação**; a **ocupação** e os **ganhos térmicos internos**; e a **temperatura**.

O período de simulação estipulado pela ABNT NBR 15575-1 é o dia típico de projeto de verão. Para determinar esse dia no arquivo climático de Vitória, foi realizada a simulação do sítio e identificados os valores máximos de temperatura externa para cada dia do verão (Gráfico 6), constatando que o dia 20 de março possui o mesmo valor de temperatura dado pela norma para Vitória (34,6°C).

GRÁFICO 6 - Temperaturas máximas externas obtidas pela simulação do sítio do arquivo climático de Vitória, com destaque em amarelo para os 9 dias – 10% da amostragem – com maiores picos de temperaturas.



Este período, além de representar uma situação crítica para o calor, não possui representatividade estatística. Pelo Teorema Central do Limite sabe-se que quanto maior o tamanho da amostra a distribuição da variável tende à normalidade e a magnitude do erro diminui (MONTGOMERY; RUNGER, 2003).

Visando a uma análise mais criteriosa de desempenho em relação aos dias mais quentes, foi estabelecido como recorte 10% do período simulado, resultando em 9 dias mais quentes, destacados em amarelo no Gráfico 6. Para uma análise mais abrangente, optou-se por analisar ainda todos os dias do verão. Assim, foram estipulados como períodos de simulação 1, 9 e 91 dias (verão completo).

Para os aspectos inerentes à **ocupação** e **ganhos térmicos internos**, o ambiente proposto pela ABNT NBR 15575-1 deve ser considerado desocupado, ou seja, sem a presença de pessoas e sem ganhos térmicos internos devido ao uso de equipamentos ou iluminação artificial. Este critério de

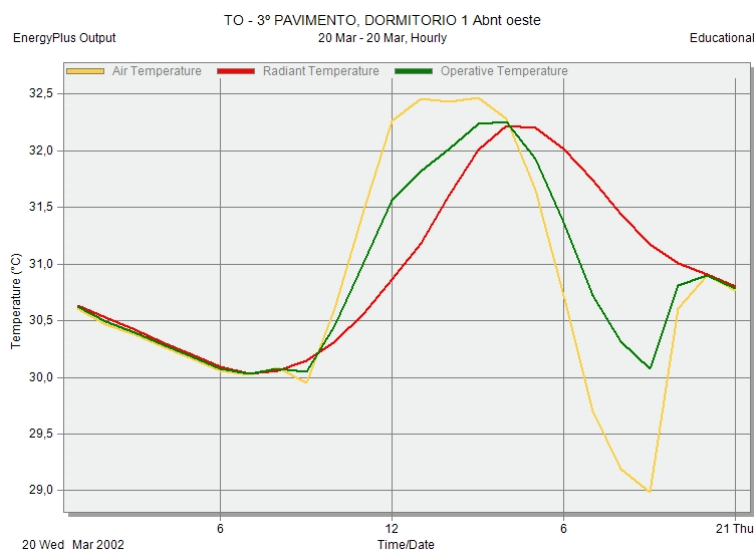
avaliação é contraditório, visto que o desempenho térmico de um ambiente está diretamente relacionado com o conforto do usuário, destacando-se principalmente que a presença de pessoas interfere no desempenho térmico do ambiente. Frota e Schiffer (2007) destacam que 80% da energia adquirida pelo organismo humano, através do metabolismo, se transformam em calor, que deve ser dissipado para que o organismo seja mantido em equilíbrio.

O pressuposto fundamental da abordagem adaptativa é expresso pelo princípio adaptativo de que se ocorrer uma mudança que gere desconforto, as pessoas reagem de maneira que tendem a restaurar o seu conforto. Ao vincular as ações das pessoas para o conforto, o princípio de adaptação relaciona a temperatura de conforto, com o contexto em que os indivíduos se encontram, assim, a temperatura de conforto é um resultado da interação entre os sujeitos e o ambiente que eles estão ocupando (ROAF; CRICHTON; NICOL, 2009). Desta forma, no modelo adaptativo, ao contrário da norma brasileira, considera-se o ambiente ocupado e em funcionamento normal. Assim, visando correlacionar as duas normativas e verificar a influência da ocupação e dos ganhos térmicos no nível de desempenho da edificação, optou-se por variar o tipo de ocupação.

Outro ponto observado relaciona-se a variável temperatura. A temperatura interna definida para avaliação pela ABNT NBR 15575-1 considera os valores de temperatura do ar, enquanto a ASHRAE 55 e a EN 15251 definem a temperatura operativa como principal variável de análise do conforto térmico. No Brasil, o RTQ-R (INMETRO, 2010) também utiliza valores de temperatura operativa.

Observa-se que a temperatura operativa é resultante da temperatura do ar interna e da temperatura radiante média, variando de acordo com a velocidade do ar. A avaliação considerando apenas a temperatura do ar pressupõe que a temperatura radiante – que representa, por exemplo, o ganho térmico da edificação acumulado devido à incidência da radiação solar – não é um fator importante. No Gráfico 7 pode-se observar que a partir de um determinado horário, a temperatura do ar diminui bruscamente, mas a temperatura radiante acumulada aquece o ambiente e influencia o valor da temperatura operativa.

GRÁFICO 7 - Resultado de simulação apresentando temperatura do ar, temperatura radiante e temperatura operativa para um ambiente dormitório em Vitória (ES).



Fonte: DesignBuilder v3 (2012)

Para não descaracterizar os parâmetros da normativa estudada, optou-se por manter, na análise de desempenho da ABNT NBR 15575, a temperatura do ar, e para os cálculos de FDT, a temperatura operativa.

A partir das considerações expostas anteriormente, foram definidas as variáveis independentes e dependentes (Quadro 3) que nortearam o comparativo entre os critérios de desempenho térmico e o referencial de conforto utilizado, ou seja, o índice FDT.

QUADRO 3 - Variáveis do Teste da Metodologia

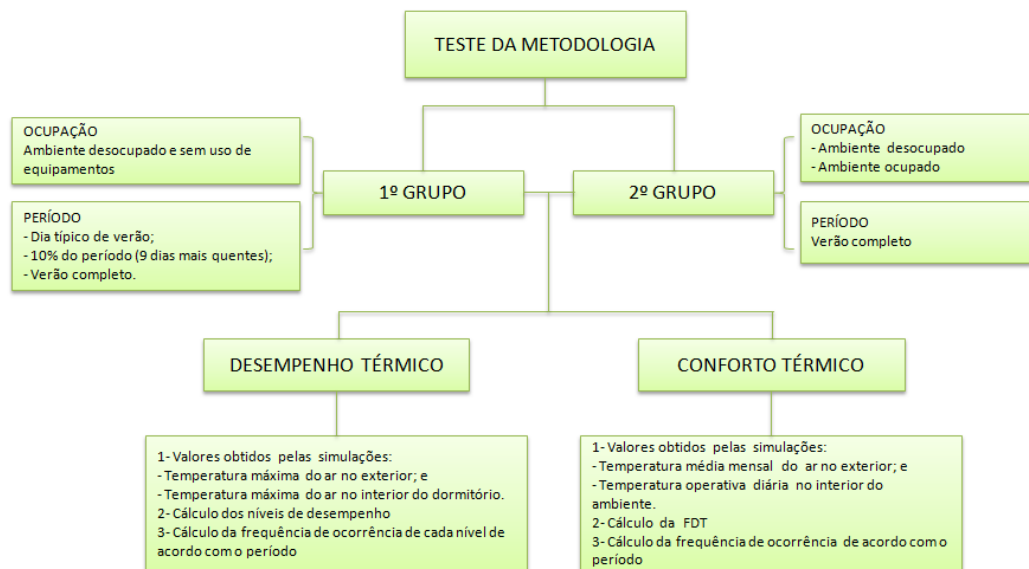
Variáveis independentes	Variáveis dependentes
Período de simulação ▪ dia típico de projeto de verão ▪ 9 dias mais quentes (10% do período) ▪ 91 dias (verão completo) Ocupação e ganhos térmicos internos ▪ Ambiente desocupado e sem fontes de ganhos térmicos ▪ Ambiente ocupado e com fontes de ganho térmico por utilização de iluminação artificial	▪ Níveis de desempenho térmico – NBR 15575-1 ▪ Frequência de desconforto térmico - FDT

A partir dos resultados obtidos, foram estabelecidos dois grupos para realização das simulações no software DesingBuilder: o primeiro grupo de simulações considerou a variação do período; e o segundo a variação da ocupação e ganhos térmicos.

Para cada grupo de variáveis independentes foram obtidos dados nas simulações a partir de um modelo computacional predefinido, sendo gerados resultados para a análise de desempenho

térmico e de conforto térmico, conforme sintetizado na Figura 31.

FIGURA 31 - Esquema geral do teste da metodologia



3.3.2 Tratamento dos dados e procedimento para análise dos resultados

Em relação ao primeiro grupo de simulações, que considera o ambiente desocupado, sem uso de iluminação artificial ou quaisquer outros ganhos internos, variou-se o período de simulação. Para a definição do nível de desempenho térmico da edificação, conforme ABNT NBR 15575, considerou-se a zona bioclimática 8 (Tabela 6) correspondente à cidade de Vitória. A partir dos resultados das simulações, foram observadas as diferenças entre os valores máximos diários da temperatura do ar externo à edificação e os valores máximos diários do ar para o cômodo analisado.

TABELA 6 – Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão, zona bioclimática 8.

Nível de desempenho	Critérios ABNT NBR 15575-1	Intervalos resultantes valores máximos de temperatura $T_{e, \text{máx}} - T_{i, \text{máx}}$	Intervalos resultantes valores mínimos de temperatura $T_{e, \text{mín}} - T_{i, \text{mín}}$
Não atende	-	Resultados < 0	-
Mínimo	$T_{i, \text{máx}} \leq T_{e, \text{máx}}$	$0 \leq \text{Resultados} < 1$	-
Intermediário	$T_{i, \text{máx}} \leq (T_{e, \text{máx}} - 1^\circ\text{C})$	$1 \leq \text{Resultados} < 2$	-
Superior	$T_{i, \text{máx}} \leq (T_{e, \text{máx}} - 2^\circ\text{C})$ e $T_{i, \text{mín}} \leq (T_{e, \text{mín}} + 1^\circ\text{C})$	Resultados ≥ 2	Resultados ≤ 1
$T_{i, \text{máx}}$ - valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Célsius $T_{e, \text{máx}}$ - valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Célsius $T_{i, \text{mín}}$ - valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Célsius $T_{e, \text{mín}}$ - valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Célsius			

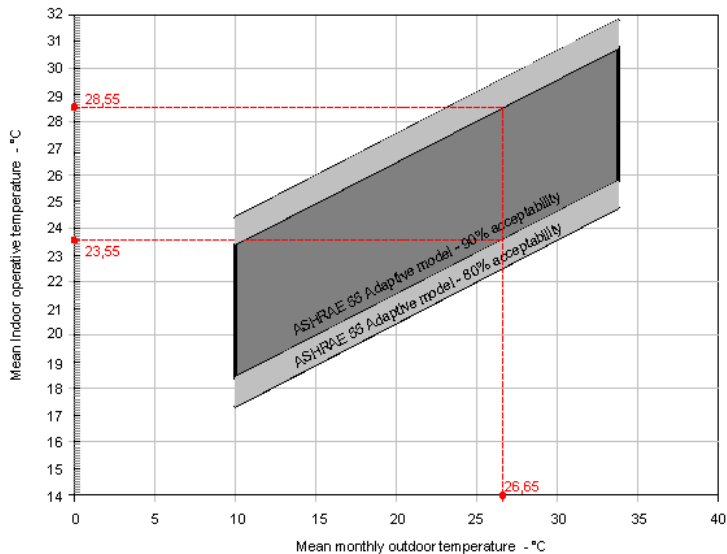
Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15575-1.

Estes dados foram tabulados em planilhas no Excel e, para cada dia analisado, foi indicado o nível de classificação encontrado (Tabelas 9 a 12 do Apêndice A). Tais valores foram quantificados, e foi calculada a frequência de ocorrência de cada nível de acordo com o período. Os níveis que obtiveram maior frequência para o período analisado (1 dia, 9 dias e verão completo) foram lançados no gráfico “Níveis de desempenho x período de simulação” nos resultados do teste da metodologia. Para os dias que resultaram em desempenho superior pelo critério da diferença das temperaturas máximas, foi testado o critério das temperaturas mínimas também (Tabela 13 do Apêndice A)

Os dados relativos à variação da ocupação foram tratados de maneira análoga. As configurações do modelo virtual consideraram tanto a ocupação do ambiente quanto o uso de iluminação artificial, para todo o período do verão, e os resultados quantificados em planilhas do Excel (Tabelas 15 a 18 do Apêndice A).

Para definição da FDT, inicialmente foram obtidas através das simulações do sítio, os valores médios mensais de temperatura do ar externo à edificação, sendo estes posteriormente lançados no diagrama do modelo de conforto adaptativo da ASHRAE 55 (Gráfico 8) e obtidos os intervalos de temperatura de conforto adaptativo considerando 90% de satisfação.

GRÁFICO 8 - Modelo de conforto adaptativo, destacando a média mensal externa para o mês de março e o intervalo de temperatura operativa obtido



Fonte: Adaptado de ASHRAE 55

A partir da definição dos intervalos de temperatura de conforto, foram identificados os limites superiores de temperatura operativa para o conforto (Tabela 7), considerando que acima destes

valores, as pessoas estariam em desconforto térmico para o calor.

TABELA 7 - Relação das médias das temperaturas externas com o intervalo de conforto térmico da ASHRAE 55.

Meses	Média mensal da temperatura externa	Intervalo de conforto (temperatura operativa)	Temperatura Limite (temperatura operativa)
Dezembro	26,86°C	23,6 – 28,6°C	28,6°C
Janeiro	26,35°C	23,45 – 28,45°C	28,45°C
Fevereiro	25,76°C	23,25 – 28,25°C	28,25°C
Março	26,65°C	23,55 – 28,55°C	28,55°C

Foram realizadas simulações para o mesmo cômodo, para os dois grupos definidos anteriormente, e gerados gráficos com os valores horários de temperatura operativa para cada dia do verão. Estes gráficos, produzidos em metafile, foram importados para o ambiente do software AutoCAD, onde foram tratados (Apêndice B - CD com os dados). As temperaturas limites superiores de conforto (temperatura operativa) para cada mês analisado, descritas na Tabela 4, foram marcadas em cada um destes gráficos e, a partir deste parâmetro, foi calculada a FDT. Os dados foram tabulados em planilha do Excel (Apêndice C) para geração dos gráficos.

3.3.3 Resultados e discussão do teste da metodologia

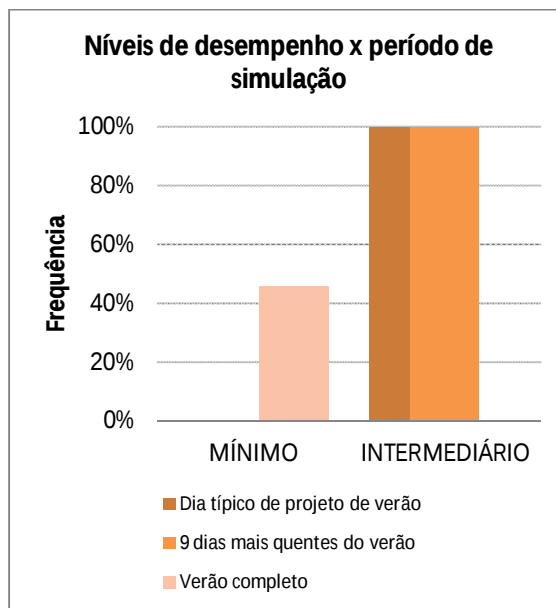
Os resultados do teste da metodologia foram avaliados a partir de 3 (três) aspectos de enfoque específicos: a variação do período de simulação; a variação da ocupação e ganhos térmicos internos; e os critérios de avaliação de desempenho térmico, conforme a seguir detalhado.

a. Variação do período de simulação

O critério estabelecido pela ABNT NBR 15575-1 para análise de desempenho térmico da edificação é a simulação do dia típico de projeto de verão, representado pelo dia mais quente do ano, segundo a média dos últimos 10 anos. A escolha de um dia que representa uma situação crítica para o calor, induz à suposição de que a edificação classificada no nível intermediário de desempenho térmico para uma determinada condição climática teria a mesma classificação referente ao desempenho para situações mais amenas, o que não ocorreu na prática.

Os resultados indicaram, tanto para o dia típico de projeto de verão quanto para os 9 dias mais quentes um nível de desempenho intermediário para o dormitório analisado (Gráfico 9); já para os 91 dias, o nível de desempenho predominante foi o mínimo, sendo que para alguns dias do verão o nível mínimo não foi atendido.

GRÁFICO 9 - Níveis de desempenho térmico obtidos a partir da variação do período de simulação.



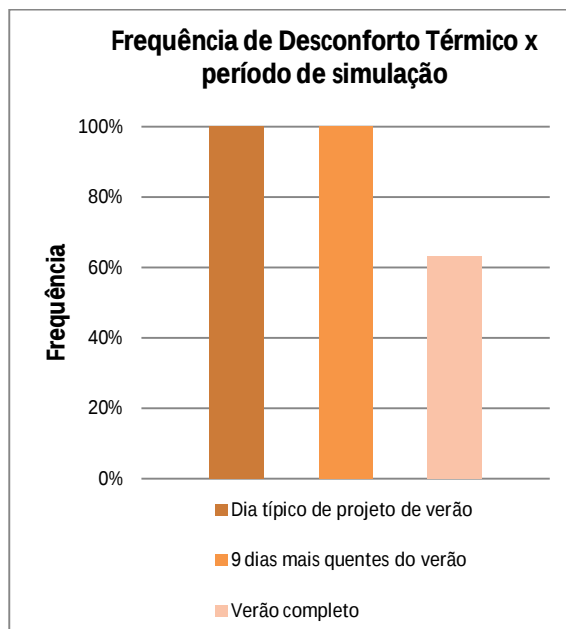
A média da diferença entre a temperatura máxima interna e externa, foi considerada estatisticamente um estimador bom, não viciado³ e consistente (MONTGOMERY; RUNGER, 2003), assim para a amostra dos 9 dias mais quentes do verão, a média da diferença foi de 1,61°C e a magnitude do erro foi de 21,37% em relação à média. Para os 91 dias do verão, a média da diferença foi de 0,81°C e a magnitude do erro foi de 16,63% em relação à média, com uma confiabilidade de 95% para os dois períodos.

Tais resultados demonstraram que a simulação para um dia, mesmo sendo considerada a pior situação, não é suficiente para definir o nível de desempenho, o qual oscilou ao ser ampliado o período de análise. De forma mais específica, os resultados indicaram que a escolha do dia típico de verão como um dia de referência, não consolida a classificação de desempenho para um nível aceitável de habitabilidade.

Para os resultados da Frequência de Desconforto Térmico, foram encontrados 100% de desconforto térmico tanto para o dia típico de projeto, como para os 9 dias mais quentes do verão. Para o período do verão completo este índice ficou em 63% de frequência de desconforto térmico (Gráfico 10).

³ Um estimador é considerado não viciado quando, em média, ele fornece estimativas iguais ao parâmetro que ele está estimando.

GRÁFICO 10 - Frequência de desconforto térmico obtido a partir da variação do período de simulação.

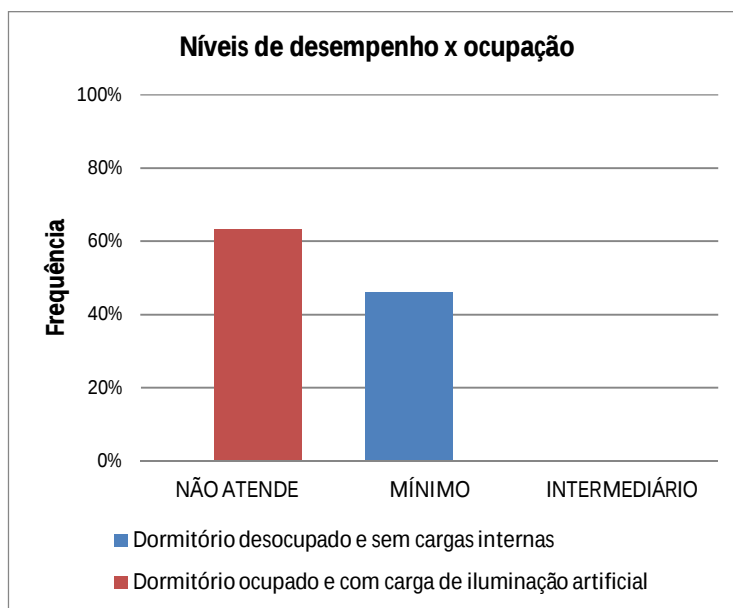


Estes resultados demonstram a inadequabilidade dos parâmetros metodológicos adotados pela ABNT NBR 15575-1, visto a incoerência apresentada entre os valores relativos aos níveis de desempenho térmico e a FDT obtidos para o mesmo ambiente, ressaltando-se que para os dias mais quentes o nível de desempenho foi intermediário, enquanto que a frequência de desconforto térmico foi de 100%.

b. Variação da ocupação e ganhos térmicos internos

Outro aspecto investigado na ABNT NBR 15575-1 foi a não consideração da presença de pessoas e cargas térmicas internas geradas por equipamentos e iluminação no ambiente. Observa-se que o Gráfico 11 é resultante de dois grupos de simulações sem a presença de pessoas e de cargas internas; e o outro com a presença de duas pessoas no dormitório e o uso da iluminação artificial (5 W/m^2), para todo o período do verão, sendo que os demais critérios de análise da ABNT NBR 15575-1 foram mantidos.

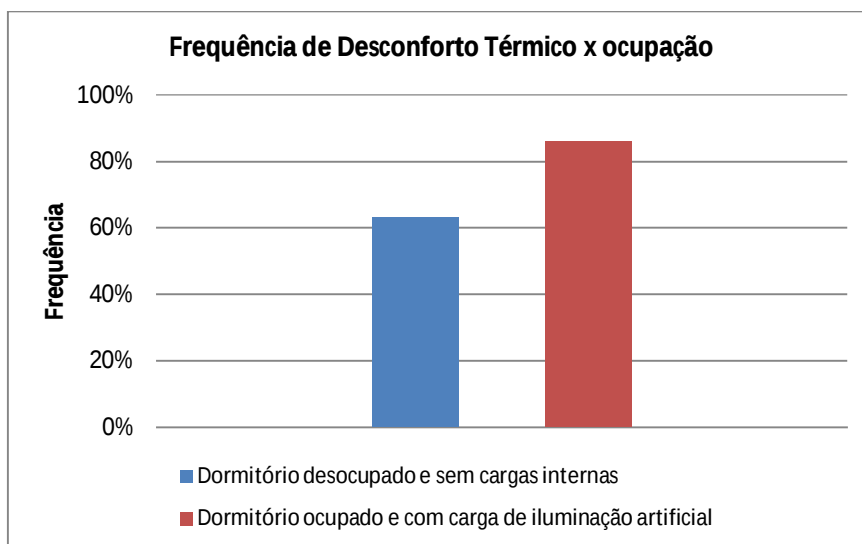
GRÁFICO 11 - Nível de desempenho obtido a partir da variação da ocupação e ganhos térmicos por uso da iluminação artificial



Os resultados confirmaram que a presença de pessoas e cargas internas com iluminação influenciam de maneira significativa no desempenho térmico do ambiente (Gráfico 11), mesmo para um ambiente dormitório que se caracteriza por um número reduzido de pessoas, baixa taxa metabólica oriunda das atividades e poucos equipamentos. No primeiro caso, onde o ambiente está desocupado, o nível de desempenho predominante para o verão foi o mínimo, com frequência de 46%. Quando se considera o dormitório ocupado e utilizando a iluminação artificial, o nível de desempenho ficou abaixo do mínimo, ou seja, em 63% do período analisado.

Para as mesmas condições o ambiente foi simulado visando a aplicação da frequência de desconforto térmico, e os resultados indicaram que a presença de pessoas e o uso da iluminação artificial aumentaram as condições de desconforto no ambiente, sendo que para o ambiente com duas pessoas a média de frequência de desconforto atingiu 86% do período analisado (Gráfico 12). Assim constata-se que a presença de pessoas e de equipamentos internos – em uma situação regular de uso – produzem calor e influenciam o conforto térmico e a classificação do nível de desempenho térmico do ambiente, sendo possível afirmar que ignorar tais fatores pode comprometer a credibilidade da avaliação de desempenho térmico.

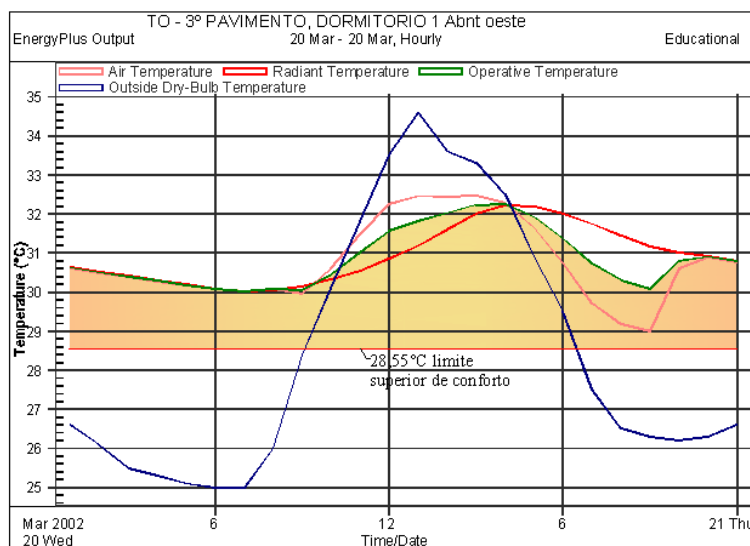
GRÁFICO 12 - Frequência de desconforto térmico obtido a partir da variação da ocupação e ganhos térmicos por uso da iluminação artificial



c. Critérios de avaliação de desempenho térmico da ABNT NBR 15575

A ABNT NBR 15575-1 utiliza como critério de avaliação de desempenho térmico do ambiente a diferença entre os valores máximos de temperatura do ar no exterior e no interior do ambiente, para o dia típico de verão, que corresponde ao dia 20 de março do arquivo climático. Para uma análise mais detalhada deste critério – que observa apenas os picos de temperatura –, o índice estatístico FDT foi adotado como referência. Pode-se observar no Gráfico 13 resultante da simulação do dormitório em estudo para o dia típico de verão - o valor máximo de 34,6°C para a temperatura externa e 32,46°C para a temperatura máxima interna do ar.

GRÁFICO 13 - Resultado da simulação do dia 20 de março, correspondendo ao dia típico de projeto de verão.



A diferença constatada entre as temperaturas foi de 2,14°C, corresponde, inicialmente ao nível superior de desempenho térmico, analisando-se o critério de temperaturas máximas externa e interna da ABNT NBR 15575-1, mas ao se ultrapassar a diferença de 2°C, observa-se ainda a diferença entre os valores de temperaturas mínimas externa e interna, e ao ser aplicado este critério o desempenho foi considerado intermediário.

Para o mesmo caso, ao ser analisada a FDT utilizando o limite máximo para temperatura de conforto térmico para o mês de março (28,55°C), observa-se que os valores internos de temperatura do ar e operativa estão acima do valor máximo definido para conforto térmico, gerando uma frequência de desconforto térmico de 100% para este dia. Como este é caracterizado por ser um dia crítico em relação ao calor, é esperado que a frequência de desconforto térmico esteja presente durante todas as horas do dia, para um ambiente não climatizado.

A partir do exposto pode-se inferir que a observação somente da diferença entre os valores máximos de temperatura externa e interna do ambiente, para os dias muito quentes, não representa a percepção adequada do nível de conforto térmico obtido para o interior do ambiente, considerando que a classificação do desempenho térmico como intermediário para uma edificação nessa situação, não condiz com os resultados de frequência de desconforto do usuário para o mesmo ambiente.

3.3.4 Análise síntese

De maneira geral observam-se diretrizes metodológicas inadequadas em relação aos critérios de avaliação de desempenho térmico por simulação computacional estabelecidos pela ABNT NBR 15575-1 para edificações ventiladas naturalmente. A definição de um período de simulação de apenas um dia – denominado como dia típico de projeto de verão –, correspondendo, de fato, a uma situação extrema. Quando combinado com o critério de análise – valores máximos de temperatura – gera resultados distorcidos, cuja ampliação do período de análise permite a identificação da inadequação do método.

Outro aspecto relevante é que a ocupação do ambiente e o uso de equipamentos produzem calor e influenciam no conforto térmico e, conseqüentemente, no desempenho do ambiente. Assim, a descon sideração deste fatores prejudicam uma análise global do desempenho, enfatizando a conclusão de que a simplificação do processo de análise de desempenho térmico proposto pela ABNT NBR 15575-1 e a ausência de correlação desta com referenciais de conforto térmico do usuário tornam esta metodologia vulnerável.

Assim, para esta pesquisa, adotou-se como critério para avaliar comparativamente os modelos de janela previamente selecionado, o modelo de conforto adaptativo da ASHRAE 55 com aplicação dos índices estatísticos propostos por Sicurella, Evola e Wurtz (2012).

3.4 Metodologia adotada para análise dos modelos de janelas

O método adotado analisa comparativamente os dois modelos de janelas previamente selecionados, com aplicação dos índices estatísticos, Frequência de Desconforto Térmico e Intensidade de Desconforto Térmico abordados por Sicurella, Evola e Wurtz (2012). Foram realizadas simulações, para cada modelo de janela nas principais orientações – Norte, Sul, Leste e Oeste, para cada dia do verão.

Estes dados receberam tratamento específico para obtenção dos resultados em FDT. A partir da análise destes primeiros resultados verificou-se a necessidade de estabelecer um Intervalo de Confiança para o tratamento dos resultados relativos aos índices FDT e IDT.

3.4.1 Variáveis de teste

Foram selecionados dois modelos de janelas, visando avaliar a interferência destes na sensação de conforto térmico do usuário em edificações multifamiliares. O Modelo A identificado como o mais comercializado, e o Modelo B, selecionado na revisão bibliográfica como a tipologia mais adequada para o clima quente e úmido. Definidas como variáveis independentes, as tipologias de janelas, foram testadas pelas índices estatísticos FDT e IDT.

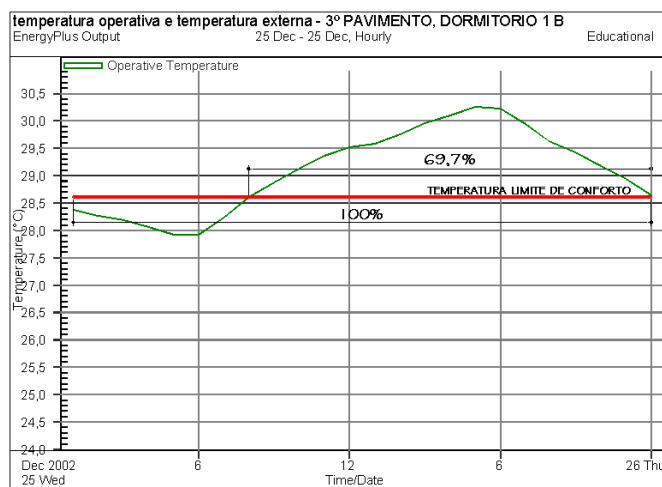
3.4.2 Tratamento dos dados e procedimento para análise dos resultados

Para o comparativo foram simuladas para as principais orientações (Norte, Sul, Leste e Oeste), para o período do verão (21 de dezembro a 21 de março), resultando em 720 gráficos diários de valores horários de temperatura operativa para o dormitório analisado.

Os valores de temperatura operativa foram avaliados de acordo com intervalo de temperatura de conforto tomando como referencial o Modelo de Conforto Adaptativo da ASHRAE 55. Os gráficos gerados pelas simulações no software DesignBuilder resultaram em um arquivo tipo metafile e importados posteriormente para o software AutoCAD.

No ambiente do AutoCAD (Gráfico 14) foi marcado em cada gráfico gerado pelas simulações o limite superior da temperatura de conforto (obtida para cada mês analisado) e procedeu-se o cálculo da FDT através da avaliação da proporcionalidade ou regra de três simples.

GRÁFICO 14 - Exemplo de tratamento de gráfico no AutoCAD para cálculo de FDT

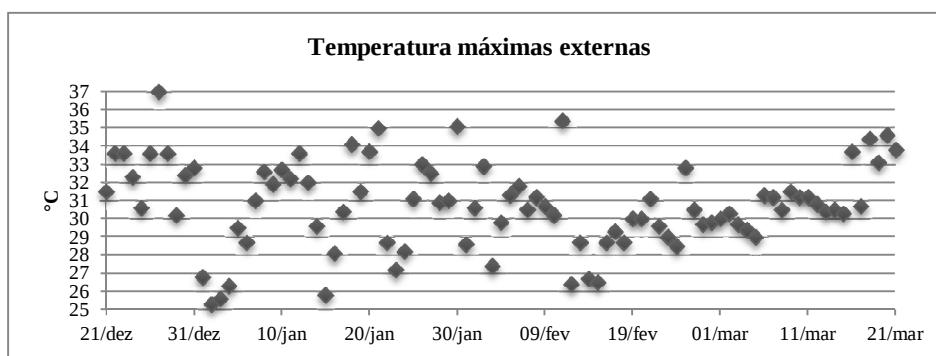


Após uma análise minuciosa dos resultados de FDT constatou-se a existência de vários dias que resultavam em FDT de 100%, e outros que, ao contrário resultavam em FDT de 0% para os dois modelos de janela (Apêndice C). Considerou-se que os valores médios são bastante influenciados por valores extremos, influenciando assim as médias de FDT analisadas.

Foi constatado que os dias mais quentes do verão proporcionam desconforto térmico para usuários das edificações não climatizadas, e as simulações para estes resultam em FDT de 100% independente do modelo de janela utilizado. De maneira análoga os dias mais amenos proporcionam resultados de 0% de FDT para ambos os modelos analisados.

Em consonância com este pensamento, Roaf, Fuentes e Thomas (2006) afirmam que quando as temperaturas de conforto ficam entre as temperaturas externas máxima e mínima, é possível abrir as janelas para um resfriamento de conforto, se a temperatura externa máxima não for superior a 35°C. Corbella e Corner (2011) destacam que a ventilação pode tornar-se uma fonte geradora de calor para o ambiente, tornando-se indesejável quando a temperatura do ar estiver acima de 34°C (BOWEN, 1981 apud BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2010). No Gráfico 15 pode-se observar que alguns dias do arquivo climático de Vitória para o período do verão possuem valores de temperatura máxima acima de 34°C chegando a 37°C.

GRÁFICO 15 – Valores das temperaturas máximas externas do verão em Vitória

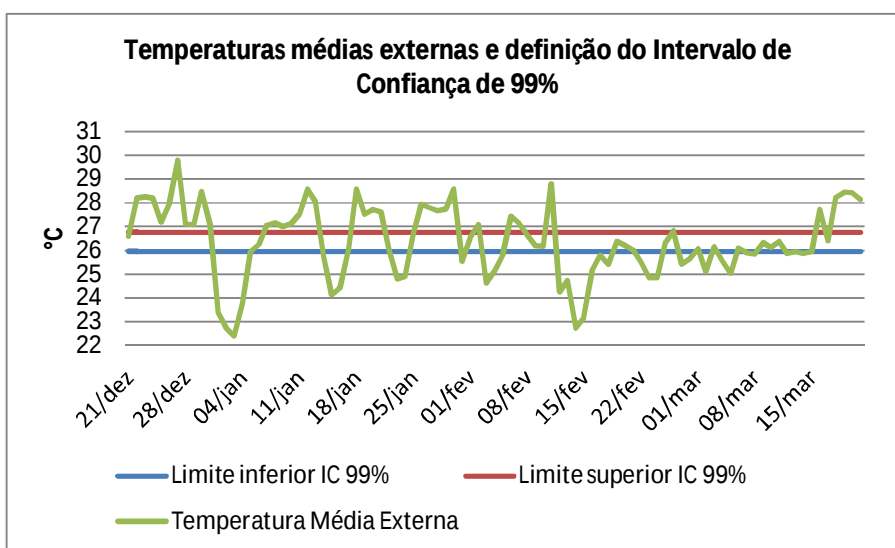


Assim, visando um comparativo de desempenho entre os modelos de janela, eliminando-se a influência dos valores extremos nas médias de FDT e dos dias em que o uso da ventilação natural não promoverá melhorias nas condições de conforto proporcionadas pelo ambiente, foi criado, a partir dos valores médios de temperatura do ar externo de todos os dias do verão (Gráfico 16), um modelo normal fundamentado em probabilidade e inferência estatística. Neste, a variável aleatória X possui distribuição normal com parâmetros μ e σ^2 , onde μ é a média populacional e σ^2 é a variância populacional (MONTGOMERY; RUNGER, 2003).

Um bom estimador para média μ , não viciado é a média amostral calculada através dos valores de temperatura média externa dos 91 dias do verão de 2002 (dados obtidos do arquivo climático de Vitória), de onde se obteve uma média de 26,37°C.

O Teorema Central do Limite (TCL) diz que se uma amostra tende a infinito, ou seja, um valor alto para os erros da estimativa, a variável tende a ter uma distribuição normal (MONTGOMERY; RUNGER, 2003). Assim, um intervalo de confiança é construído supondo a normalidade dos erros. Um intervalo de confiança de 99% de confiabilidade para a temperatura média de verão possui o limite inferior de 25,96°C e limite superior de 26,77°C e, fora desses, os valores serão considerados outliers⁴. Desta forma, foram selecionados os dias do arquivo climático cujos valores médios de temperatura externa estavam dentro dos limites estabelecidos pelo intervalo de confiança estabelecido (Gráfico 16).

GRÁFICO 16 – Intervalo de Confiança de 99%.



Os dias selecionados (Tabela 8) foram utilizados para os cálculos subsequentes de FDT e para os de IDT.

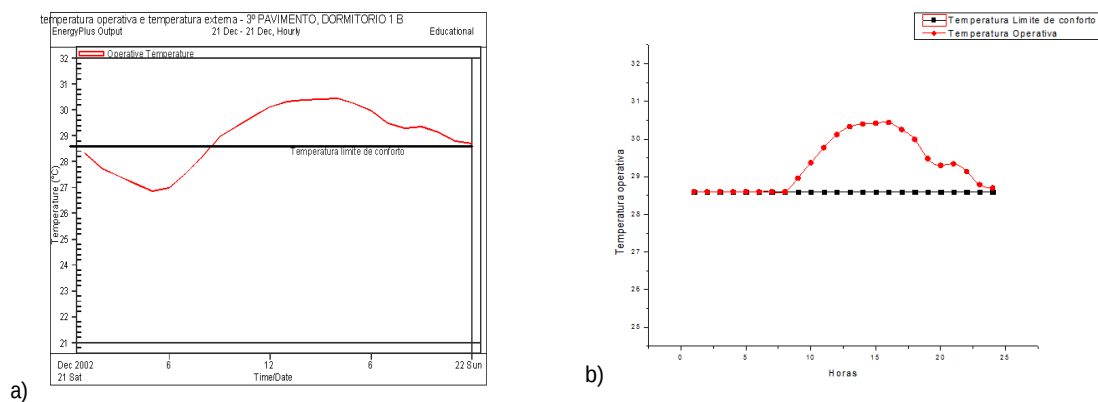
⁴ Outlier, também chamado de valor aberrante ou valor atípico, é uma observação que apresenta um grande afastamento das demais da série (que está "fora" dela).

TABELA 8 - Dias selecionados para análise comparativa entre janelas – IC de 99%

Data	Temperatura Externa Média (°C)	Data	Temperatura Externa Média (°C)
21/dez	26,59	20/fev	26,23
05/jan	25,96	21/fev	26,02
06/jan	26,26	25/fev	26,35
17/jan	26,07	01/mar	26,07
22/jan	26,02	03/mar	26,15
25/jan	26,72	06/mar	26,11
01/fev	26,54	09/mar	26,33
08/fev	26,66	10/mar	26,12
09/fev	26,20	11/mar	26,39
10/fev	26,17	17/mar	26,41
19/fev	26,38		

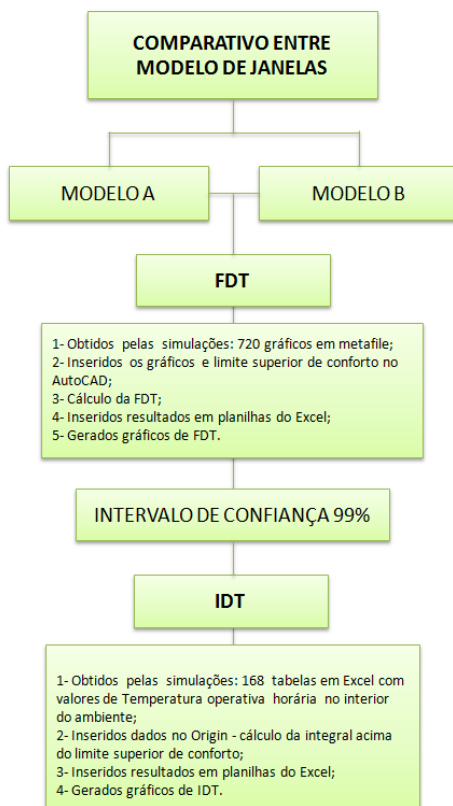
Para a avaliação da IDT foram utilizados os resultados de valores de temperatura operativa para cada hora do dia, salvos em planilhas do Excel, e estes dados foram inseridos, juntamente com os valores de temperatura limite de conforto no software Origin 8. Assim, foram gerados novos gráficos, para o cálculo da integral dos valores de temperatura operativa acima do limite de conforto, correspondendo à IDT para o calor. Para tanto, quando os valores da temperatura operativa ficaram dentro da zona de conforto, foram alterados para a temperatura limite (Figura 32), para que o cálculo da área do gráfico correspondesse exatamente a IDT.

FIGURA 32 - Exemplo de tratamento dos resultados para cálculo da IDT; a) Gráfico gerado pelo Desing Builder; e b) Gráfico tratado no Origin destacando-se alteração dos valores de temperatura operativa dentro da zona de conforto.



Os resultados de IDT (Apêndice D) foram inseridos em planilhas do Excel e gerados gráficos de barras para comparativo dos modelos analisados. Além destes, foram gerados ainda gráficos de dispersão de IDT e diagramas de Frequência x Intensidade de Desconforto Térmico.

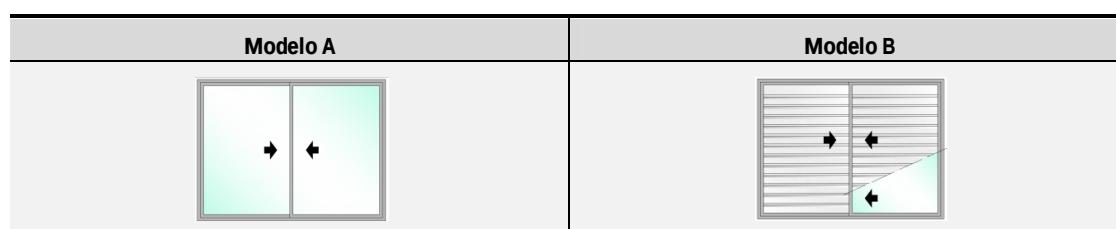
A Figura 33 apresenta de forma esquemática o procedimento adotado.

FIGURA 33 - Esquema geral da análise comparativa entre os modelos de janelas.

4. ANÁLISE DOS MODELOS DE JANELAS

Considerando que a tipologia de janelas em edificações multifamiliares, interfere no desempenho térmico de dormitórios, foi estabelecido o comparativo entre os Modelos A e B (Figura 34).

FIGURA 34 – Modelos de janelas

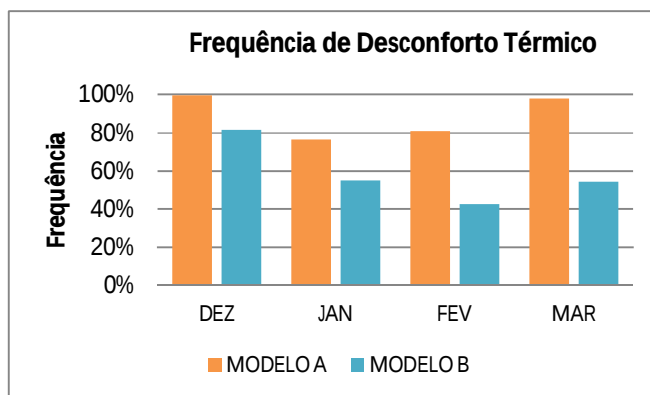


Espera-se, com a substituição do modelo sem venezianas pelo modelo com venezianas incorporadas, mantendo-se o tamanho do vão de abertura, uma melhoria no desempenho térmico do ambiente, e consequente melhora nas condições de conforto, em virtude de:

- O modelo B possibilitar o sombreamento de 50% do vão da janela devido às folhas em alumínio, reduzindo a incidência da radiação solar direta no interior do cômodo, com a consequente redução da temperatura radiante média e, naturalmente, da temperatura operativa durante o período diurno;
- O modelo B possibilitar o aproveitamento da ventilação pela folha veneziana, proporcionando resfriamento e renovação do ar do cômodo no período noturno, sem comprometer a segurança.

4.1 Frequência de Desconforto Térmico (FDT)

De acordo com a metodologia de avaliação os resultados apresentados no Gráfico 17, que correspondem aos 91 dias do período do verão, indicam uma diferença significativa entre os modelos analisados, resultando em uma redução dos valores médios de Frequência de Desconforto Térmico no interior do cômodo analisado quando utilizado o Modelo B de janela.

GRÁFICO 17 - Comparativo das médias mensais de FDT entre modelos de janelas

Entretanto, observa-se uma variação na diferença entre as médias de FDT dos modelos de janelas em função do mês analisado, onde a substituição do Modelo A pelo Modelo B resultou numa redução do desconforto em 17,9% em dezembro; 21,2% em janeiro; 38,28% em fevereiro e 43,35% em março.

Uma análise dos resultados obtidos para cada dia simulado revela que, para o mês de dezembro (Apêndice C), do total de 11 dias avaliados deste mês (21 a 31 de dezembro) 5 dias resultaram em 100% de FDT para ambos os modelos de janela, o que corresponde a 45% do período analisado.

Para o mês de janeiro (Apêndice C) 6 dias resultaram em 100% de FDT, enquanto que em 5 dias houve 0% de FDT, observando-se que tais valores influenciam bastante a média, e para este mês corresponderam a 35% do período analisado.

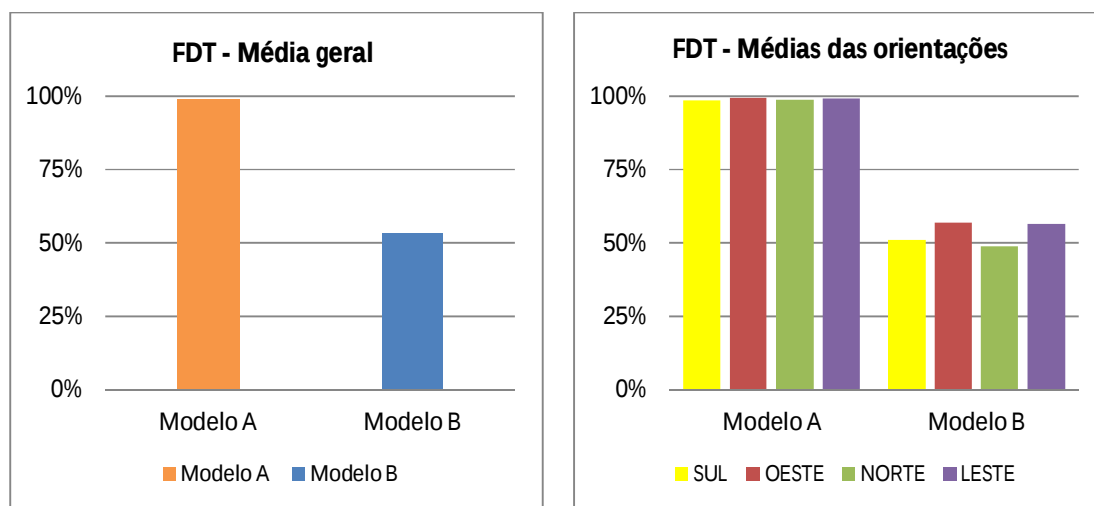
Da mesma forma observou-se que para os meses de fevereiro e março (Apêndice C) valores de 100% ou de 0% de FDT, sendo que para fevereiro corresponderam a 18% e para março 14% do período analisado.

Este fato influenciou os resultados encontrados, visto que quanto maior a influência dos dias muito quentes – como no caso do mês de dezembro com 35% do período –, mais próxima ficou a média de FDT dos modelos analisados.

A partir desta análise, visando eliminar a influência dos dias muito quentes, assim como dos dias mais amenos que proporcionam conforto ou desconforto térmico independente do modelo de janela, e para melhor visualização do impacto causado na FDT com a troca do Modelo A de janela pelo B, estabeleceu-se uma seleção dos dias avaliados. Esta seleção se deu a partir da média

amostral das temperaturas máximas externas dos 91 dias do verão, para um Intervalo de Confiança de 99%, conforme descrito no item 3.7.2 da metodologia. Os resultados obtidos (Gráfico 18, a) indicaram média geral de FDT de 99,11% para o cômodo utilizando o modelo A de janela, e com a substituição pelo modelo B, o resultado obtido foi uma redução de 45,74% das condições de desconforto.

GRÁFICO 18 - FDT para IC de 99%. a) Média geral; b) Médias das orientações.



a)

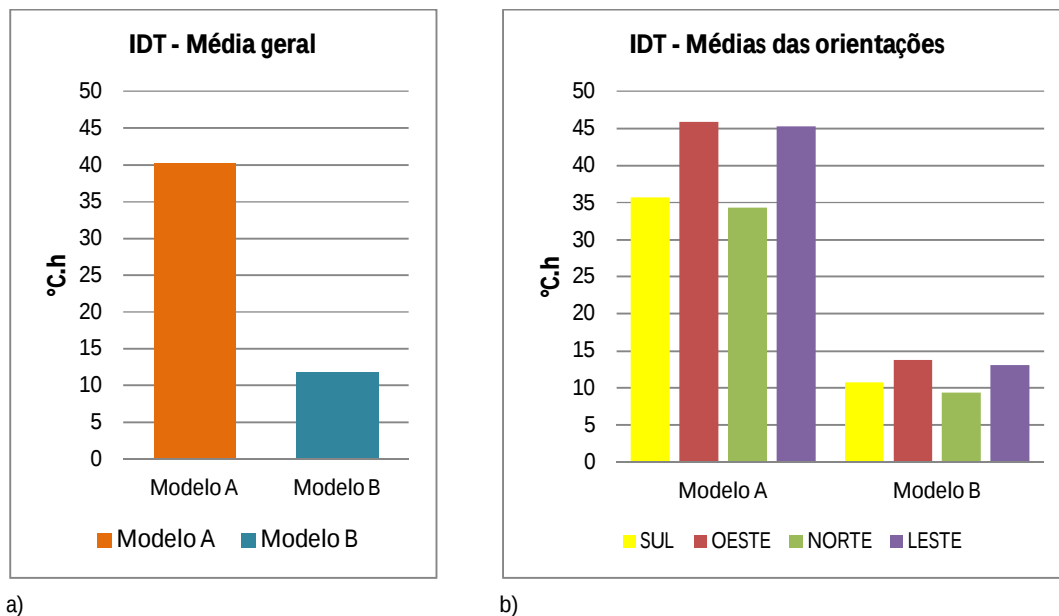
b)

Para o modelo sem venezianas incorporadas a frequência de desconforto térmico foi de praticamente 100% para todas as orientações analisadas, e quando utilizada a janela com venezianas se observa que as orientações que possuem maiores índices de FDT são a oeste e leste, com resultados bastante próximos, e a fachada sul, considerada por muitos autores como uma orientação solar favorável, obteve um índice FDT acima dos valores obtidos para a fachada norte.

4.2 Intensidade de Desconforto Térmico (IDT)

A IDT é resultante do acúmulo de calor no ambiente causado, entre outros aspectos, pela incidência da radiação solar direta e pela baixa frequência de ventilação natural. Para as mesmas condições ambientais, os resultados de IDT obtidos para cada modelo de janela de acordo com IC estabelecido apresentam claramente uma redução da intensidade de desconforto térmico ao ser utilizado o modelo de janela com venezianas para todas as orientações.

GRÁFICO 19 – IDT a) Média geral; b) Médias das orientações.



Observa-se, para os dias analisados (Gráfico 19 a) uma redução de 71% de graus horas de desconforto (°C.h - acima da temperatura limite de conforto), em relação à média geral de IDT, quando utilizado o modelo de janela com venezianas.

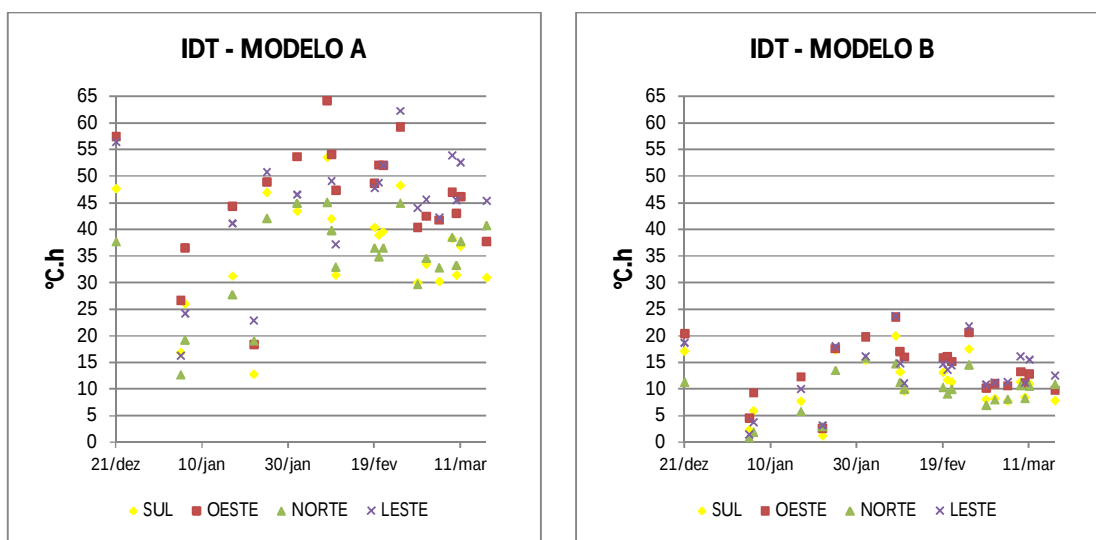
Na análise de cada orientação separadamente (Gráfico 19 b), percebe-se resultados similares ao encontrado para média geral, sendo que para a fachada Norte obteve-se, em média, uma redução de 73% no acúmulo de calor no ambiente em graus hora de desconforto, para a fachada Leste 71% e para as fachadas Sul e Oeste 70% de melhoria no ambiente com a utilização do modelo B de janelas.

Cabe ressaltar, entretanto, que a utilização da janela com venezianas minimizou as diferenças de IDT entre as orientações. A maior diferença de IDT foi entre as orientações Oeste e Norte, resultando em 11,49°C.h para o modelo A de janela, e esta diferença entre as mesmas orientações, foi de 4,5°C.h para o modelo B.

Este fato se confirma nos gráficos de dispersão (Gráfico 20 a e b) em que foram plotados os valores de IDT encontrados para os dias analisados em cada orientação. Tais resultados são compatíveis com o diagrama solar de Vitória, onde se observa que para os meses de janeiro e dezembro a orientação norte proporciona menor IDT visto que neste período esta não recebe radiação solar direta. Já no mês de fevereiro percebe-se menor diferença entre as fachadas norte

e sul, visto que o sol incide parte da manhã e parte da tarde em ambas as fachadas. De maneira análoga percebe-se que no mês de março a fachada sul proporciona menor IDT considerando que para este mês a mesma não recebe radiação solar.

GRÁFICO 20 - Dispersão de IDT para IC de 99% a) Modelo A; b) Modelo B.

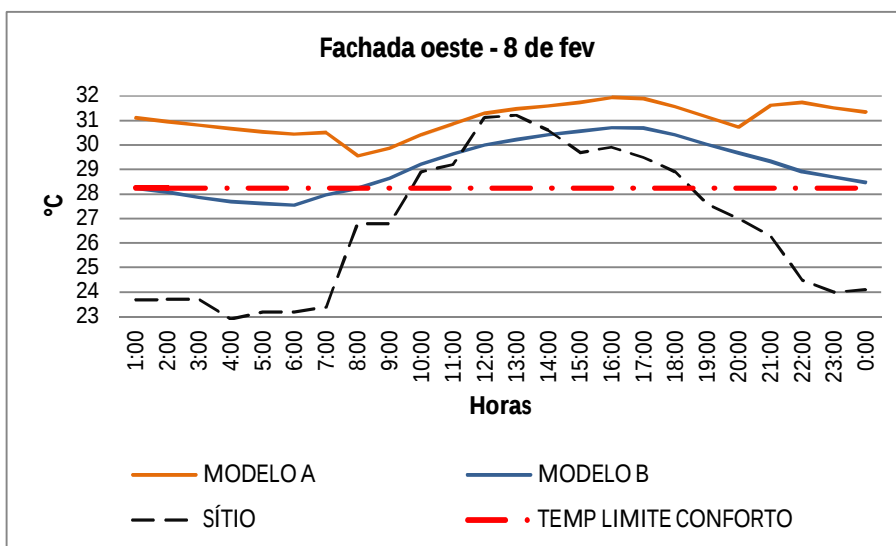


a)

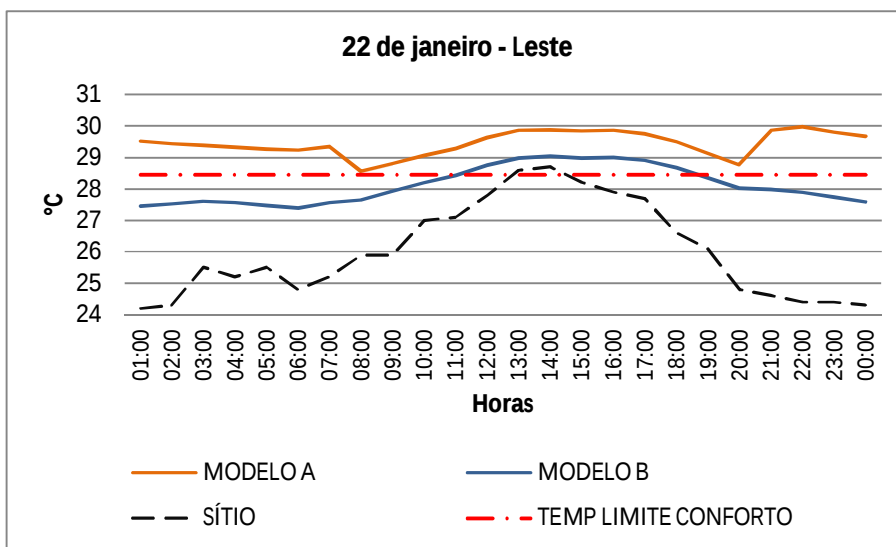
b)

É importante destacar que a minimização das diferenças dos valores de IDT entre as orientações, quando utilizado o Modelo B de janela, se deve, em parte, ao sombreamento da folha em alumínio (em 50% do vão da janela) que reduziu a exposição do cômodo à radiação solar direta.

Para uma análise mais minuciosa, foi elaborado o Gráfico 21, a partir do dia 8 de fevereiro – dia mais quente entre os analisados – e com maior valor de IDT obtido para fachada Oeste (modelo A). O gráfico apresenta os valores de temperatura operativa dos modelos de janelas, a temperatura do sítio (externa) e a temperatura limite de conforto. Durante o período diurno percebe-se uma redução de aproximadamente 1°C no ambiente com a janela com venezianas. E para o período noturno, percebe-se claramente a influência da ventilação assegurada pelas venezianas, proporcionando o resfriamento da edificação condizente com a temperatura do sítio, chegando a uma redução da temperatura do dormitório de aproximadamente 3°C. Desta forma, pode-se verificar que os valores de IDT para o modelo B de janela são influenciados tanto pelo sombreamento, quanto pela ventilação noturna, proporcionados pelas venezianas.

GRÁFICO 21 – Comparativo entre modelos de janelas, dia 8 de fevereiro, fachada Oeste.

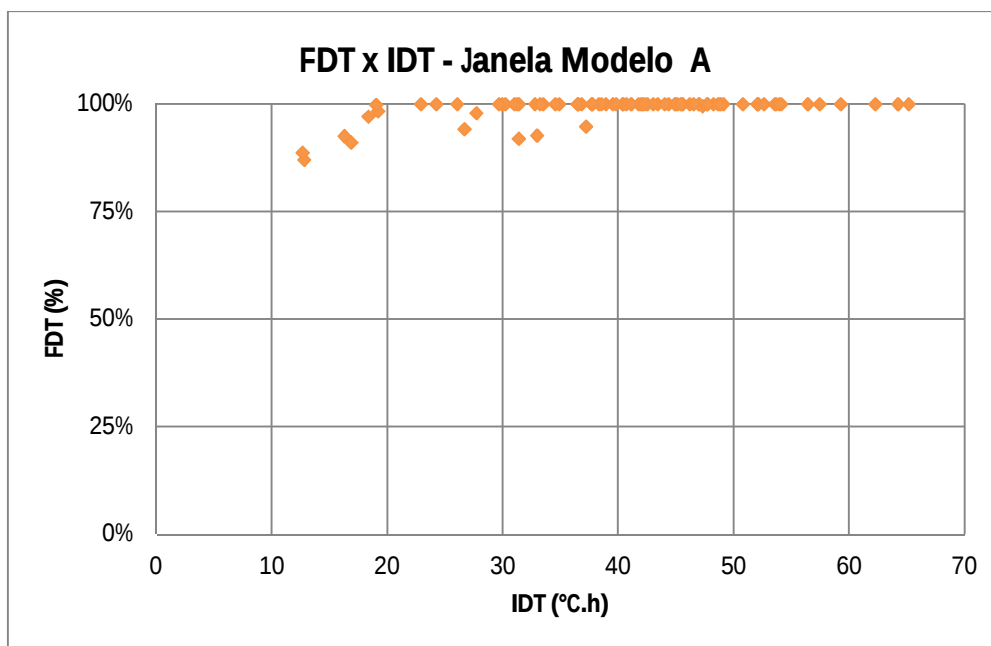
A fim de assegurar esta interpretação, foram observadas as temperaturas obtidas no ambiente, para o dia 22 de janeiro em outra orientação, no caso a Leste (Gráfico 22). Percebe-se que a temperaturas operativas, quando utilizada a janela com venezianas mantêm uma redução de 1°C ao longo do dia, e durante o período noturno esta diferença chega a aproximadamente 2°C. Como a temperatura externa neste caso é mais amena que no caso anterior, observa-se que além da redução nos valores de IDT, a ventilação noturna proporcionada pelas venezianas melhora a condições de conforto do ambiente reduzindo ainda a FDT, visto que em várias horas do dia passam a estar dentro do limite de conforto térmico.

GRÁFICO 22 – Comparativo entre modelos de janelas, dia 22 de janeiro, fachada Leste.

4.3 Frequência x Intensidade de Desconforto Térmico

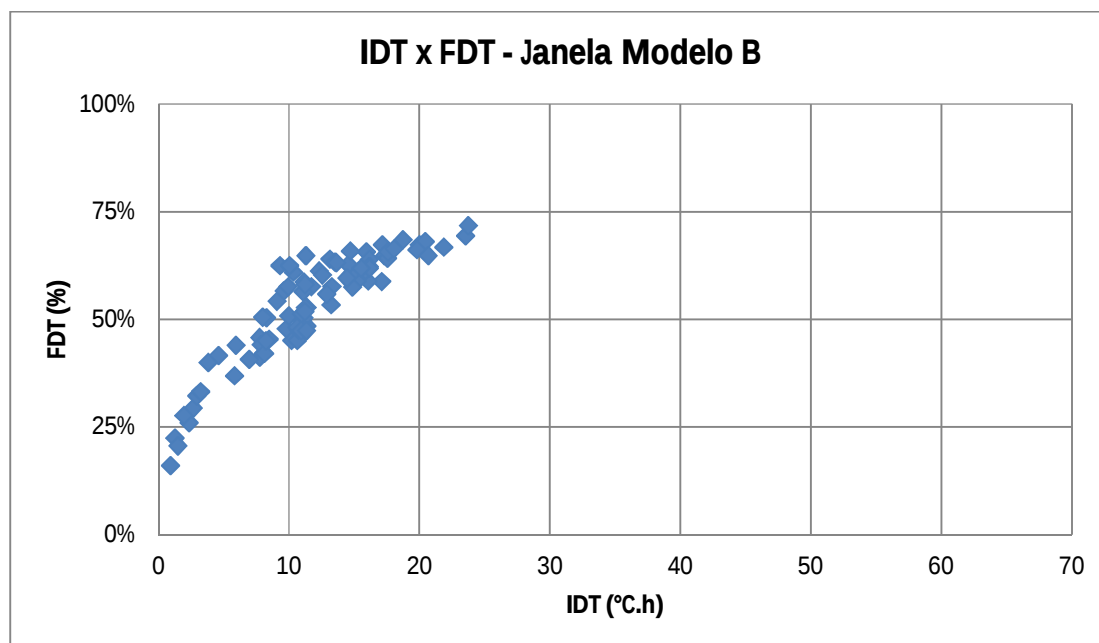
Os diagramas FDT x IDT elaborados com base na metodologia proposta por Sicurella, Evola e Wurtz (2012), visam uma interpretação mais cuidadosa dos resultados encontrados, apontando a influência dos modelos de janela nas condições de conforto resultantes para o dormitório analisado.

GRÁFICO 23 - FDT x IDT do Modelo A de janela para IC de 99%.



De maneira geral, a leitura do diagrama para o modelo A indica um ambiente com intenso e frequente desconforto, com alta FDT – de 87% a 100% –, e variação de IDT de 12,67°C.h a 65,17°C.h (Gráfico 23).

O diagrama gerado pelo Modelo B proporcionou melhora significativa nos índices FDT x IDT (Gráfico 24), em que se observa a FDT variando de 16,1% a 71,9% e valores de IDT entre 0,9°C.h e 23,73°C.h, indicando desconforto de frequente a passageiro, porém menos intenso, com valores bem abaixo dos obtidos pelo modelo A de janela.

GRÁFICO 24 - FDT x IDT do Modelo B de janela para IC de 99%.

A aplicação dos índices FDT e IDT trouxe referenciais do quanto à diferença de desempenho pode impactar na sensação de conforto do usuário, ampliando a percepção dos ganhos diretos (conforto térmico) e indiretos (economia de energia) sobre a escolha adequada de modelos de janelas de acordo com o clima local.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As tipologias de janelas desenvolvidas nas décadas de 1930 a 1950 para habitação multifamiliar no Brasil chamam a atenção pela busca de uma identidade deste elemento de arquitetura em sintonia com o clima local. Este aspecto em particular, fez com que as janelas influenciassem na composição formal das tipologias das fachadas conferindo, ritmo e harmonia. A ruptura deste referencial, vinculada ao surgimento de sistemas de climatização artificial e à despreocupação com consumo de energia, acarretou a perda do conceito projetual da janela.

A abordagem do projeto de janelas deve ir além dos aspectos ambientais envolvidos, em que se destacam a ventilação; a iluminação natural; o controle do som, da chuva e do sol; e outros, como a estética; o custo; manutenção; a vista da paisagem; a privacidade; a segurança e o consumo energético (BITTENCOURT; CANDIDO, 2010, CARMODY; SELKOWITZ; HESCHONG, 1996). Este projeto pode definir a composição formal da fachada e se tornar um referencial arquitetônico.

Este trabalho considerou a utilização de janelas para dormitórios de edificações multifamiliares, tendo como foco principal a melhoria do desempenho térmico do ambiente a partir da alteração do modelo de janela.

Tendo como referencial o modelo de janela comumente utilizado em Vitória – duas folhas de correr com marco em alumínio e pano em vidro –, definido como Modelo A; e outro modelo – de correr, marco em alumínio, com três folhas, uma com pano em vidro; outra com pano em venezianas de alumínio vazante e a terceira com pano em alumínio estanque –, denominado Modelo B, os resultados confirmaram a hipótese levantada e indicaram uma significativa melhoria das condições de conforto térmico no interior do cômodo analisado quando utilizado o Modelo B, para todas orientações avaliadas, Norte, Sul, Leste e Oeste, mas, principalmente, para as orientações Leste e Oeste.

Ressalta-se que a redução da Frequência de Desconforto Térmico foi de 45,74% (média) e a redução da Intensidade de Desconforto Térmico foi de 71% (média) com a substituição do Modelo A pelo B.

Os resultados atestam que a substituição do modelo padrão de vidro, por outro com venezianas, constitui uma forma de condicionamento térmico passivo, podendo este conhecimento resultar

em benefício para grande parcela da população, se aplicado pelos incorporadores em novas construções.

O método adotado para a análise dos modelos de janelas se mostrou adequado, e permitiu uma análise global do impacto que as janelas podem gerar nas condições de conforto de um ambiente. Foi possível constatar a influência da proteção solar e da ventilação noturna, proporcionadas pelas venezianas, nas temperaturas operativas resultantes no ambiente ao longo do dia e seu rebatimento na Frequência e Intensidade de Desconforto Térmico geradas.

Outro aspecto abordado pela pesquisa partiu da revisão da bibliografia, em que se constatou grande diferença conceitual entre as normativas americana e brasileira em relação aos métodos de avaliação de conforto e desempenho térmico para edificações não climatizadas. A ASHRAE 55 tem como base o modelo de conforto adaptativo, enquanto que a ABNT NBR 15575 não possui referenciais de conforto do usuário. Assim, esta pesquisa investigou os critérios de avaliação de desempenho térmico da ABNT NBR 15575, relacionando-os com referenciais de conforto do usuário adotados pela ASHRAE 55.

Foi demonstrada, no teste da metodologia, a inadequabilidade dos critérios da normativa brasileira relativos ao desempenho térmico, devido à desconsideração do usuário em seus critérios de avaliação. Desta forma pode-se atestar que a ABNT NBR 15575 possui uma metodologia de análise de desempenho térmico demasiadamente simplificada, e sobretudo, a ausência de correlação desta com referenciais de conforto térmico do usuário tornam esta metodologia vulnerável.

Ressalta-se que esta pesquisa tomou como referencial para teste a zona bioclimática ZB8, porém é possível afirmar que os aspectos considerados na análise realizada e os consequentes resultados conceituais são passíveis de serem replicados para as demais zonas bioclimáticas brasileiras.

Outras possibilidades de pesquisas futuras na mesma área podem avaliar o desempenho de janelas de forma sistêmica envolvendo conforto térmico e lumínico, aproveitando a metodologia proposta por Sicurella, Evola e Wurtz (2012).

Além disso, podem ser testadas outras orientações e outros modelos de janelas. Em relação à orientação Norte seria interessante analisar o ano todo, visto que a fachada norte recebe maior insolação a partir de 21 de março a 23 de setembro período que não foi analisado.

REFERÊNCIAS

ALAJMI, A. Energy audit of an educational building in a hot summer climate. **Energy and Buildings**, n. 47, p. 122-130, 2012.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE 55 Handbook – Fundamentals**. Atlanta, 2004.

ANALYSIS SOL-AR – Versão 5.0.1. UFSC: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - LabEEE. Disponível em: < <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/softwares/analysis-sol-ar>> Acesso em: 10 jan. 2012.

ANDREASI, W. A.; LAMBERTS, R.; CÂNDIDO, C. Thermal acceptability assessment in buildings located in hot and humid regions in Brazil. **Building and Environment**, v.45, p 1225-1232, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: Edifícios habitacionais – Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2013a.

_____. **NBR 15575-4**: Edificações habitacionais – Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro, 2013b.

_____. **NBR 15220-1**: Desempenho térmico de edificações – Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005a.

_____. **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005b.

_____. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2005c.

BAHARVAND, M.; AHMAD, M.; SAFIKHANI, T.; MAJID, A. DesignBuilder Verification and Validation for Indoor Natural Ventilation. **Journal of Basic and Applied Scientific Research**. v. 3 (4) p. 182-189, 2013.

BARROSO-KRAUSE, C. **Desempenho Térmico e Eficiência Energética em Edificações**: Conforto Higrotérmico Dirigido à Concepção Arquitetônica. Rio de Janeiro: Procel Edifica, 2011. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br>> Acesso em 20 jul. 2013.

BERNABÉ, A. C. A. **A influência da envoltória no consumo de energia em edifícios comerciais artificialmente climatizados na cidade de Vitória-ES**. 130p. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2012.

BITTENCOURT, L.; CÂNDIDO, C. **Ventilação Natural em Edificações**. Rio de Janeiro: Procel Edifica, 2010. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br>> Acesso em 20 jul. 2013.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Eletrobras/Procel - Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética – Procel Info. Disponível em: < <http://www.eletrobras.com>>. Acesso em: 10 jul. 2013.

BRAGER, G. S.; DEAR, R. J. de. Thermal adaptation in the built environment: a literature review. **Energy and Buildings**, v. 27, p. 83-96, 1998.

BUENO, R. **Fugindo do calor e da conta de ar condicionado**. 2011. Disponível em: < <http://www.ecocidades.com/tag/construcao-sustentavel/>>. Acesso em 17 abril 2014.

CÂNDIDO, M. C. Florianópolis, 2010. **Indoor air movement acceptability and thermal comfort in hot-humid climates**. 2010.180f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

CÂNDIDO, C.; DEAR, R.; LAMBERTS, R. Combined thermal acceptability and air movement assessments in a hot humid climate. **Building and Environment**, v.46, p 379-385, 2011.

CÂNDIDO, C.; LAMBERTS, R.; DEAR, R.; BITTENCOURT, L.; VECCHI, R. Towards a Brazilian standard for naturally ventilated buildings: guidelines for thermal and air movement acceptability. **Building Research & Information**. v.39, p 145-153, 2011.

CARDOSO, A. L.; ARAGÃO, T. A.; ARAUJO, F. S. Habitação de interesse social: Política ou Mercado? Reflexos sobre a construção do espaço metropolitano. In: ENCONTRO NACIONAL DA ANPUR, 14., 2011, Rio de Janeiro. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <<http://www.anpur.org.br/revista/rbeur/index.php/anais/article/view/3082/3017>> Acesso em: 20 jul. 2013.

CARMODY, J., SELKOWITZ, S., HESCHONG, L. **Residential Windows: a guide to new Technologies and energy performance**. New York: Norton, 1996.

CASA.COM.BR. **23 portas e janelas de madeira**. 2006. Disponível em: <<http://casa.abril.com.br/materia/23-portas-e-janelas-de-madeira#1>>. Acesso em: 26 abril 2014.

COLIN, S. **Edifícios marcantes no centro do Rio de Janeiro**. 2011. Disponível em: <<http://coisasdaarquitectura.wordpress.com/2011/06/20/edificios-marcantes-no-centro-do-rio-de-janeiro/>>. Acesso em: 19 abril 2014.

COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION. EN 15251: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. Brussels, 2007.

CORBELLA, O.; CORNER, V. **Manual de Arquitetura Bioclimática Tropical para redução do consumo energético**. Rio de Janeiro: Revan, 2011.

CORBELLA, O.; YANNAS, S. **Em busca de uma arquitetura Sustentável para os trópicos: conforto ambiental**. Rio de Janeiro: Revan, 2003.

CORNETET, M. C. **Recomendações para especificação de vidros em edificações comerciais na região climática de Porto Alegre - RS**. 2009. 168p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

COSTA, A. E.; STUMPP, M. M. Janelas “Modernas”: materialidade das aberturas na arquitetura moderna de Caxias do Sul. In: SEMINÁRIO DOCOMOMO SUL, 4, 2013, Porto Alegre. **Anais Eletrônicos...** Disponível em: <www.docomomo.org.br>. Acesso em: 17 mar. 2014.

COSTA, M. F. C. C.. **Aplicação do DesingBuider à avaliação de soluções de aquecimento e arrefecimento de edifícios para diferentes zonas climáticas portuguesas.** 2013. 89p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2013.

COSTA, M. O. **O Edifício Ibaté de Adolf Franz Heep, e a crítica à legislação urbanística paulistana.** 2013. Disponível em: <<http://marcosocosta.wordpress.com/2013/03/24/o-edificio-ibate-de-adolf-franz-heep-e-a-critica-a-legislacao-urbanistica-paulistana/>> Acesso em 19 abril 2014.

DEAK, A. **Edifício Lausanne, Adolf Franz Heep.** 2011. Disponível em: <<https://www.flickr.com/photos/arteforadomuseu/5877765863/in/photostream/>>. Acesso em: 18 abril 2014.

DELL-SANTO, A., NICO-RODRIGUES, E. A., ALVAREZ, C. E. de. Conforto e desempenho térmico em contradição na NBR 15575. **Cadernos PROARQ.** Rio de Janeiro, v. 20/21, 2014. Aprovado em 19/11/2013. Noprelo.

DESIGNBUILDER. Version 3.0.0.097. Copyright, Design Builder Software Ltd. 2012. Disponível em: <www.designbuilder.co.uk> Acesso em: 15 fev. 2012.

DURCO, B. **Edifício Marquês de Herval.** 2012. Disponível em: <<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=877776&page=70>>. Acesso em: 19 abril 2014.

ESPALLARGAS GIMENEZ, Luis. A propósito do juízo da arquitetura paulistana. *Arquitextos*, São Paulo, ano 09, n. 105.02, **Vitruvius**, fev. 2009. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/09.105/73>>. Acesso em: 17 abril 2014.

FOLHA VITÓRIA. **Serasa: crédito habitacional lidera demanda de PF.** Vitória, 27 de set. 2013. Disponível em: <<http://www.folhavitória.com.br>>

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S.R. **Manual de Conforto Térmico.** 8ª ed. São Paulo: Studio Nobel, 2007.

GEWERC, M. **Leblon, anos 40.** 2013. Disponível em: <<http://www.rioquepassou.com.br/2013/08/07/leblon-anos-40/>>. Acesso em: 19 abril 2014.

GOULART, S., LAMBERTS, R., FIRMINO, S. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras.** Florianópolis: UFSC, 1998.

GUTIERREZ, G. C. R.; LABAKI, L. C. **Considerações sobre o brise-soleil na arquitetura moderna brasileira.** In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8. ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 2005, Maceió. **Anais Eletrônicos...** Disponível em: <<http://www.infohab.org.br>> Acesso em: 20 mar. 2013.

HUMPHREYS, M. A.; RIJAL, H. B.; NICOL, J. F. Updating the adaptive relation between climate and comfort indoors; new insights and an extended database. **Building and Environment**, v.63, p 40-55, 2013.

INMETRO - RTQ-R: Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais. Brasília, 2010.

KON, N. **Clássicos da Arquitetura: Parque Eduardo Guinle/Lúcio Costa**. Disponível em: <www.archdaily.com.br/br/01-14549/classicos-da-arquitetura-parque-eduardo-guinle-lucio-costa/14549_15422>. Acesso em: 18 abril 2014.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES – LABEEE. Seção Downloads. Arquivos climáticos em formato EPW. Disponível em: <www.labee.ufsc.br/downloads>. Acesso em: 2 set. 2012.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 2. ed. São Paulo: ProLivros, 2004.

M Roberto Arquitetos: Prêmio ASBEA 2004 pioneiros do moderno. **Arcoweb**, São Paulo, 08 dez 2004. Projeto Design. Disponível em: <<http://arcoweb.com.br/projetodesign/arquitetura/m-roberto-arquitetos-premio-asbea-08-12-2004>>. Acesso em: 17 abril 2014.

MASCARÓ, L. **Energia na Edificação**: estratégia para minimizar seu consumo. São Paulo: Projeto, 1991.

MOLINA, C. **RJ – A época de ouro da arquitetura carioca em 18 obras**. 2014. Disponível em: <<http://defender.org.br/noticias/nacional/rj-a-epoca-de-ouro-da-arquitetura-carioca-em-18-obras/>> Acesso em: 19 abril 2014.

MONTEIRO, V. S.; PEZZUTO, C. C.; MOTA, A. A.; MOTA, L.T.M. Estudo do percentual de área de janela em edificações brasileiras durante o século XIX e XX. **Oculum Ensaios**, Campinas, n. 16, p. 82-95, 2012.

MONTGOMERY, D.; RUNGER, G. **Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros**, 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

MUNHOZ, M. **41 quartos de casal com decoração neutra**. 2012. Disponível em: <<http://casa.abril.com.br/materia/41-quartos-de-casal-com-decoracao-neutra#2>>. Acesso em: 24 abril 2014.

MRV: Imóveis à venda. Parque Vila Florata. Disponível em: <<http://imoveis.mrv.com.br/apartamentos/espíritosanto/serra/chacaraparrerial/parquevilafloata>> Acesso em 21 jul. 2013.

NICO-RODRIGUES, E. A. **Janelas x ventilação: modelo de apoio à escolha de janelas para edificações multifamiliares em Vitória**, ES. 2008. 177p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2008.

NICOL, F.; HUMPHREYS, M. Derivation of the adaptative equations for thermal comfort in free-running buildings in European standard EN15251. **Building and Environment**. v. 45, p11-17, 2010.

NOGUEIRA, Cláudia. São Paulo: como é morar no Edifício Louveira. **Casa.com.br**, São Paulo, 27 set. 2013. Disponível em: <<http://casa.abril.com.br/materia/sao-paulo-como-e-morar-no-edificio-louveira>>. Acesso em: 17 abril 2014.

ORIGIN – Version 8. USA: Copyright OriginLab Corporation, 2008. Disponível em: <www.originlab.com>. Acesso em 30 ago. 2013.

PASQUALI, F. E.; VARGAS, J. C. B. Conjunto Habitacional “Minha Casa Minha Vida” em Bento Gonçalves - Relato de uma experiência. In: CONGRESSO INTERNACIONAL SUSTENTABILIDADE E HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL. 2010, Porto Alegre. **Anais Eletrônicos...** Disponível em: <<http://www.pucrs.br/fau/chis2010/>> Acesso em: 20 jul. 2013.

PEREIRA, C. C. **Os Irmãos Roberto e a Arquitetura Moderna no Rio de Janeiro (1936 – 1954)**. 1993. 151 f. Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1993. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/52585/000050525.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 19 abril 2014.

PERSIANAS BRASIL. **Venezianas de Alumínio**. Disponível em: <<http://www.persianasbrasil.com.br/veneziana-aluminio.php>>. Acesso em: 26 abril 2014.

PINHEIRO, M. L. B. Arquitetura residencial verticalizada em São Paulo nas décadas de 1930 e 1940. **Anais do Museu Paulista: História e Cultura Material**, São Paulo, v. 16, n. 1, Jan./June 2008. Disponível em: <www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-47142008000100004>. Acesso em: 10 abril 2014.

PIRATININGA, C. **Treliças, muxarabiês e brises ventilam os ambientes**. 2011. Disponível em: <<http://casa.abril.com.br/materia/trelicas-muxarabies-e-brises-ventilam-os-ambientes#1>>. Acesso em 24 abril 2014.

RAHMAN, M.M.; RASUL, M. G.; KHAN, M. M. K. Energy conservation measures in an institutional building in sub-tropical climate in Australia. **Applied Energy**, n. 87, p. 2994 - 3004, 2010.

ROAF, S.; CRICHTON, D.; NICOL, F. **Adapting buildings and cities for climate change**, 2. Ed. Oxford: Architectural Press, 2009.

RORIZ, M. **Uma Proposta de Revisão do Zoneamento Bioclimático Brasileiro**. ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. Relatório Interno, 2012. Disponível em: <www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos> Acesso em: 24 dez. 2013.

SANTOS, L. S. **Requisitos de iluminação natural nos sistemas de avaliação de edifícios e impactos energéticos em edificações comerciais no Brasil**. 120p. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2012.

SICURELLA, F.; EVOLA, G.; WURTZ, E. A statistical approach for the evaluation of thermal and visual comfort in free-running buildings. **Energy and Buildings**, v.47, p 402-410, 2012.

SILVA, J. M. C. Habitar a metrópole: os apartamentos quitinetes de Adolf Franz Heep. **Anais do Museu Paulista: História e Cultura Material**, São Paulo, v. 21, n. 1, Jan./June 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0101-47142013000100009&script=sci_arttext>. Acesso em: 19 abril 2014.

SINDUSCON-ES. Sindicato da Indústria da Construção Civil no Estado do Espírito Santo – 24º Censo Imobiliário: Novembro de 2013. Disponível em: <<http://www.sinduscon-es.com.br>>. Acesso em: 25 dez. 2013.

SORGATO, M. J.; VERSAGE, R.; LAMBERTS, R. **A influência da área de ventilação no desempenho térmico de edificações residenciais**. 2011. (Nota Técnica) Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011a. Disponível em: <www.labeee.ufsc.br/publicacoes/notas-tecnicas>. Acesso em : 10/03/2013.

SORGATO, M. J.; VERSAGE, R.; LAMBERTS, R. **Sombrear ou não sombrear janelas**. 2011b. (Nota Técnica) Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011. Disponível em: <www.labeee.ufsc.br/publicacoes/notas-tecnicas>. Acesso em: 10/03/2013.

TIBIRIÇA, A. C. G.; FERRAZ, R. **Considerações para projeto de janelas em edificações: fatores ambientais, normativos e tecnológicos**. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8. ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 2005, Maceió. **Anais Eletrônicos...** Disponível em: <<http://www.infohab.org.br>> Acesso em: 20/03/2013.

TOLEDO, E. **Ventilação Natural das Habitações**. Maceio: EDUFAL, 1999.

TOLMASQUIM, M. As origens da crise energética brasileira. **Ambiente & Sociedade**, Campinas, n. 6-7, jan./jun. 2000. Disponível em: <www.scielo.br/scielo.php?pid=S1414-753X2000000100012&script=sci_arttext> Acesso em: 23/12/2013.

TRONCHIN, L.; FABBRI, K. Energy performance building evaluation in Mediterranean countries: comparison between software simulations and operating rating simulation. **Energy and Buildings**, n. 40, p. 1176-1187, 2008.

TROVATA COMUNICAÇÃO. **A Mado Janelas & Portas disponibiliza para suas esquadrias o sistema de Aletas Móveis. 2013.** Disponível em: <<http://www.brasilengenharia.com/portal/construcao/4166-a-mado-janelas-a-portas-disponibiliza-para-suas-esquadrias-o-sistema-de-aletas-moveis>>. Acesso em: 26 abril 2014.

VEIGA, J. E. **Desenvolvimento Sustentável: o Desafio do Século XXI**. 3. ed. Rio de Janeiro: Garamond, 2008.

VILLA, Simone Barbosa. Um breve olhar sobre os apartamentos de Rino Levi:. Produção imobiliária, inovação e a promoção modernista de edifícios coletivos verticalizados na cidade de São Paulo. *Arquitextos*, São Paulo, ano 10, n. 120.07, **Vitruvius**, jun. 2010. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/10.120/3437>>. Acesso em: 16 abril 2014.

US DEPARTMENT OF ENERGY - USDOE. Building Energy Software Tools Directory. Energy efficiency & renewable energy, building technologies program. Disponível em: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/>. Acesso em: 20 mar. 2013.

VENÂNCIO, R. **A influência de decisões arquitetônicas na eficiência energética do Campus/UFRN.** 221 p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2007.

VENÂNCIO, R. **Treinamento para o programa DesignBuilder versão 2.0.** 83 p. Laboratório de Conforto Ambiental – Departamento de arquitetura e urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R. Simulação térmica e energética de edificações a partir de dados climáticos simplificados: validação através do método BESTEST. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 4, n. 3, p. 37-49, 2004.

APÊNDICE A

Resultados do teste da metodologia: ABNT NBR 15575

TABELA 9 - Resultados obtidos pela metodologia da ABNT NBR 15575 para variação do período - Dezembro

Ocupação: Ambiente desocupado e sem ganhos térmicos de equipamento e iluminação Temperatura utilizada: Temperatura do ar Orientação da janela: Oeste								
Data	Ti, máx	Te, máx dia	Te,máx – Ti, máx	Nível de desempenho				
	°C	°C	°C		NA	M	I	S
21/dez	30,79	31,50	0,71	Mínimo		1		
22/dez	32,49	33,60	1,11	Intermediário			1	
23/dez	31,99	33,60	1,61	Intermediário			1	
24/dez	31,98	32,30	0,32	Mínimo		1		
25/dez	29,96	30,60	0,64	Mínimo		1		
26/dez	32,25	33,60	1,35	Intermediário			1	
27/dez*	34,94	37,00	2,06**	Intermediário			1	
28/dez	31,93	33,60	1,67	Intermediário			1	
29/dez	29,86	30,20	0,34	Mínimo		1		
30/dez	31,26	32,40	1,14	Intermediário			1	
31/dez	30,76	32,80	2,04**	Intermediário			1	

*Obs.: Dias com maiores valores de temperatura máxima externa do verão.

**Obs.: Apesar da diferença “Te,máx – Ti,máx” resultar acima de 2°C para estes dias, o desempenho não pode ser considerado superior, pois para o nível de desempenho superior deve-se observar ainda os valores de temperaturas mínimas, os quais não atenderam o recomendado pela norma (Tabela 13).

TABELA 10 - Resultados obtidos pela metodologia da ABNT NBR 15575 para variação do período - Janeiro

Ocupação: Ambiente desocupado e sem ganhos térmicos de equipamento e iluminação Temperatura utilizada: Temperatura do ar Orientação da janela: Oeste								
Data	Ti, máx	Te, máx dia	Te,máx – Ti,máx	Nível de desempenho				
	°C	°C	°C		NA	M	I	S
01/jan	25,71	26,80	1,09	Intermediário			1	
02/jan	24,56	25,30	0,74	Mínimo		1		
03/jan	24,01	25,60	1,59	Intermediário			1	
04/jan	25,25	26,30	1,05	Intermediário			1	
05/jan	29,02	29,50	0,48	Mínimo		1		
06/jan	29,32	28,70	-0,62	Não atende	1			
07/jan	30,90	31,00	0,10	Mínimo		1		
08/jan	30,98	32,60	1,62	Intermediário			1	
09/jan	30,66	31,90	1,24	Intermediário			1	
10/jan	31,04	32,70	1,66	Intermediário			1	
11/jan	31,16	32,20	1,04	Intermediário			1	
12/jan	32,74	33,60	0,86	Mínimo		1		
13/jan	31,24	32,00	0,76	Mínimo		1		
14/jan	29,15	29,60	0,45	Mínimo		1		
15/jan	25,22	25,80	0,58	Mínimo		1		
16/jan	26,91	28,10	1,19	Intermediário			1	
17/jan	30,14	30,40	0,26	Mínimo		1		
18/jan*	33,06	34,10	1,04	Intermediário			1	
19/jan	31,22	31,50	0,28	Mínimo		1		
20/jan*	32,21	33,70	1,49	Intermediário			1	
21/jan*	32,71	35,00	2,29**	Intermediário			1	
22/jan	28,44	28,70	0,26	Mínimo		1		
23/jan	26,80	27,20	0,40	Mínimo		1		
24/jan	27,69	28,20	0,51	Mínimo		1		
25/jan	30,32	31,10	0,78	Mínimo		1		
26/jan	31,80	33,00	1,20	Intermediário			1	
27/jan	31,51	32,50	0,99	Mínimo		1		
28/jan	30,75	30,90	0,15	Mínimo		1		
29/jan	30,67	31,00	0,33	Mínimo		1		
30/jan*	33,47	35,10	1,63	Intermediário			1	
31/jan	28,29	28,60	0,31	Mínimo		1		

*Obs.: Dias com maiores valores de temperatura máxima externa do verão.

**Obs.: Apesar da diferença “Te,máx – Ti,máx” resultar acima de 2°C para estes dias, o desempenho não pode ser considerado superior, pois para o nível de desempenho superior deve-se observar ainda os valores de temperaturas mínimas, os quais não atenderam o recomendado pela norma (Tabela 13).

TABELA 11 - Resultados obtidos pela metodologia da ABNT NBR 15575 para variação do período - Fevereiro

Ocupação: Ambiente desocupado e sem ganhos térmicos de equipamento e iluminação Temperatura utilizada: Temperatura do ar Orientação da janela: Oeste								
Data	Ti, máx	Te, máx dia	Te,máx – Ti,máx	Nível de desempenho				
	°C	°C	°C		NA	M	I	S
01/fev	30,45	30,60	0,15	Mínimo		1		
02/fev	30,94	32,90	1,96	Intermediário			1	
03/fev	25,84	27,40	1,56	Intermediário			1	
04/fev	28,34	29,80	1,46	Intermediário			1	
05/fev	29,90	31,30	1,40	Intermediário			1	
06/fev	31,00	31,80	0,80	Mínimo		1		
07/fev	30,83	30,50	-0,33	Não atende	1			
08/fev	30,64	31,20	0,56	Mínimo		1		
09/fev	30,34	30,70	0,36	Mínimo		1		
10/fev	30,16	30,20	0,04	Mínimo		1		
11/fev*	33,97	35,40	1,43	Intermediário			1	
12/fev	25,53	26,40	0,87	Mínimo		1		
13/fev	27,80	28,70	0,90	Mínimo		1		
14/fev	25,52	26,70	1,18	Intermediário			1	
15/fev	25,59	26,50	0,91	Mínimo		1		
16/fev	29,20	28,70	-0,50	Não atende	1			
17/fev	29,85	29,30	-0,55	Não atende	1			
18/fev	27,39	28,70	1,31	Intermediário			1	
19/fev	29,91	30,00	0,09	Mínimo		1		
20/fev	30,09	30,00	-0,09	Não atende	1			
21/fev	30,34	31,10	0,76	Mínimo		1		
22/fev	29,53	29,60	0,07	Mínimo		1		
23/fev	28,54	29,00	0,46	Mínimo		1		
24/fev	27,52	28,50	0,98	Mínimo		1		
25/fev	31,37	32,80	1,43	Intermediário			1	
26/fev	30,54	30,50	-0,04	Não atende	1			
27/fev	29,15	29,70	0,55	Mínimo		1		
28/fev	29,71	29,80	0,09	Mínimo		1		

*Obs.: Dias com maiores valores de temperatura máxima externa do verão.

TABELA 12 - Resultados obtidos pela metodologia da ABNT NBR 15575 para variação do período - Março

Ocupação: Ambiente desocupado e sem ganhos térmicos de equipamento e iluminação Temperatura utilizada: Temperatura do ar Orientação da janela: Oeste								
Data	Ti, máx	Te, máx dia	Te,máx – Ti,máx	Nível de desempenho				
	°C	°C	°C		NA	M	I	S
01/mar	30,22	30,00	-0,22	Não atende	1			
02/mar	28,96	30,30	1,34	Intermediário			1	
03/mar	29,90	29,70	-0,20	Não atende	1			
04/mar	29,41	29,40	-0,01	Não atende	1			
05/mar	28,91	29,00	0,09	Mínimo		1		
06/mar	30,24	31,30	1,06	Intermediário			1	
07/mar	30,06	31,20	1,14	Intermediário			1	
08/mar	30,10	30,50	0,40	Mínimo		1		
09/mar	30,68	31,50	0,82	Mínimo		1		
10/mar	30,34	31,20	0,86	Mínimo		1		
11/mar	30,43	31,20	0,77	Mínimo		1		
12/mar	29,93	30,80	0,87	Mínimo		1		
13/mar	30,16	30,40	0,24	Mínimo		1		
14/mar	29,79	30,50	0,71	Mínimo		1		
15/mar	30,01	30,30	0,29	Mínimo		1		
16/mar	32,23	33,70	1,47	Intermediário			1	
17/mar	30,17	30,70	0,53	Mínimo		1		
18/mar*	32,47	34,40	1,93	Intermediário			1	
19/mar	31,92	33,10	1,18	Intermediário			1	
20/mar ***	32,46	34,60	2,14**	Intermediário			1	
21/mar	32,22	33,80	1,58	Intermediário			1	

*Obs.: Dias com maiores valores de temperatura máxima externa do verão.

Obs.: Apesar da diferença “Te,máx – Ti,máx**” resultar acima de 2°C para estes dias, o desempenho não pode ser considerado superior, pois para o nível de desempenho superior deve-se observar ainda os valores de temperaturas mínimas, os quais não atenderam o recomendado pela norma (Tabela 13).

***Obs.: O dia 20 de março do arquivo climático possui o mesmo valor de temperatura máxima externa do “Dia típico de projeto de verão”.

TABELA 13 - Resultados obtidos pela metodologia da ABNT NBR 15575 para o critério de desempenho superior

Ocupação: Ambiente desocupado e sem ganhos térmicos de equipamento e iluminação Temperatura utilizada: Temperatura do ar Orientação da janela: Oeste				
Data	Ti, mín (°C)	Te, mín (°C)	Ti, mín ≤ (Te, mín + 1°C)	Nível de desempenho superior
27/dez	30,74	25,9	Ti, mín ≤ 26,9	Como Ti, mín = 30,74 °C, não atende ao estabelecido
31/dez	27,07	23,8	Ti, mín ≤ 24,8	Como Ti, mín = 27,07 °C, não atende ao estabelecido
21/jan	28,55	24	Ti, mín ≤ 25	Como Ti, mín = 28,55 °C, não atende ao estabelecido
20/mar	28,98	25	Ti, mín ≤ 26	Como Ti, mín = 28,98 °C, não atende ao estabelecido

TABELA 14 - Resultados obtidos pela metodologia da ABNT NBR 15575 para variação da ocupação - Dezembro

Ocupação: Ambiente ocupado e com uso de iluminação artificial Temperatura utilizada: Temperatura do ar Orientação da janela: Oeste							
Data	Ti, máx	Te, máx dia	Te, máx – Ti, máx	Nível de desempenho			
	°C	°C	°C		NA	M	I S
21/dez	31,97	31,50	-0,47	Não atende	1		
22/dez	33,14	33,60	0,46	Mínimo		1	
23/dez	32,90	33,60	0,70	Mínimo		1	
24/dez	32,79	32,30	-0,49	Não atende	1		
25/dez	31,50	30,60	-0,90	Não atende	1		
26/dez	33,21	33,60	0,39	Mínimo		1	
27/dez	35,34	37,00	1,66	Intermediário			1
28/dez	32,74	33,60	0,86	Mínimo		1	
29/dez	31,53	30,20	-1,33	Não atende	1		
30/dez	32,38	32,40	0,02	Mínimo		1	
31/dez	31,66	32,80	1,14	Intermediário			1

TABELA 15 - Resultados obtidos pela metodologia da ABNT NBR 15575 para variação da ocupação - Janeiro

Ocupação: Ambiente ocupado e com uso de iluminação artificial Temperatura utilizada: Temperatura do ar Orientação da janela: Oeste								
Data	Ti, máx	Te, máx dia	Te,máx – Ti,máx	Nível de desempenho				
	°C	°C	°C		NA	M	I	S
01/jan	27,61	26,80	-0,81	Não atende	1			
02/jan	26,88	25,30	-1,58	Não atende	1			
03/jan	26,49	25,60	-0,89	Não atende	1			
04/jan	27,55	26,30	-1,25	Não atende	1			
05/jan	30,66	29,50	-1,16	Não atende	1			
06/jan	30,89	28,70	-2,19	Não atende	1			
07/jan	31,88	31,00	-0,88	Não atende	1			
08/jan	32,05	32,60	0,55	Mínimo		1		
09/jan	31,76	31,90	0,14	Mínimo		1		
10/jan	31,87	32,70	0,83	Mínimo		1		
11/jan	32,19	32,20	0,01	Mínimo		1		
12/jan	33,56	33,60	0,04	Mínimo		1		
13/jan	32,38	32,00	-0,38	Não atende	1			
14/jan	30,58	29,60	-0,98	Não atende	1			
15/jan	27,68	25,80	-1,88	Não atende	1			
16/jan	28,55	28,10	-0,45	Não atende	1			
17/jan	31,35	30,40	-0,95	Não atende	1			
18/jan	33,93	34,10	0,17	Mínimo		1		
19/jan	32,32	31,50	-0,82	Não atende	1			
20/jan	33,13	33,70	0,57	Mínimo		1		
21/jan	33,34	35,00	1,66	Intermediário			1	
22/jan	30,10	28,70	-1,40	Não atende	1			
23/jan	29,09	27,20	-1,89	Não atende	1			
24/jan	29,66	28,20	-1,46	Não atende	1			
25/jan	31,58	31,10	-0,48	Não atende	1			
26/jan	32,61	33,00	0,39	Mínimo		1		
27/jan	32,53	32,50	-0,03	Não atende	1			
28/jan	31,87	30,90	-0,97	Não atende	1			
29/jan	31,85	31,00	-0,85	Não atende	1			
30/jan	34,19	35,10	0,91	Mínimo		1		
31/jan	30,10	28,60	-1,50	Não atende	1			

TABELA 16 - Resultados obtidos pela metodologia da ABNT NBR 15575 para variação da ocupação - Fevereiro

Ocupação: Ambiente ocupado e com uso de iluminação artificial Temperatura utilizada: Temperatura do ar Orientação da janela: Oeste								
Data	Ti, máx	Te, máx dia	Te,máx – Ti,máx	Nível de desempenho				
	°C	°C	°C		NA	M	I	S
01/fev	31,69	30,60	-1,09	Não atende	1			
02/fev	31,95	32,90	0,95	Mínimo		1		
03/fev	27,94	27,40	-0,54	Não atende	1			
04/fev	29,73	29,80	0,07	Mínimo		1		
05/fev	31,17	31,30	0,13	Mínimo		1		
06/fev	32,06	31,80	-0,26	Não atende	1			
07/fev	31,96	30,50	-1,46	Não atende	1			
08/fev	31,91	31,20	-0,71	Não atende	1			
09/fev	31,54	30,70	-0,84	Não atende	1			
10/fev	31,45	30,20	-1,25	Não atende	1			
11/fev	34,55	35,40	0,85	Mínimo		1		
12/fev	27,42	26,40	-1,02	Não atende	1			
13/fev	29,36	28,70	-0,66	Não atende	1			
14/fev	27,31	26,70	-0,61	Não atende	1			
15/fev	27,89	26,50	-1,39	Não atende	1			
16/fev	30,43	28,70	-1,73	Não atende	1			
17/fev	31,16	29,30	-1,86	Não atende	1			
18/fev	29,54	28,70	-0,84	Não atende	1			
19/fev	31,12	30,00	-1,12	Não atende	1			
20/fev	31,29	30,00	-1,29	Não atende	1			
21/fev	31,32	31,10	-0,22	Não atende	1			
22/fev	30,61	29,60	-1,01	Não atende	1			
23/fev	29,98	29,00	-0,98	Não atende	1			
24/fev	29,29	28,50	-0,79	Não atende	1			
25/fev	32,26	32,80	0,54	Mínimo		1		
26/fev	31,52	30,50	-1,02	Não atende	1			
27/fev	30,37	29,70	-0,67	Não atende	1			
28/fev	30,98	29,80	-1,18	Não atende	1			

TABELA 17 - Resultados obtidos pela metodologia da ABNT NBR 15575 para variação da ocupação - Março

Ocupação: Ambiente ocupado e com uso de iluminação artificial Temperatura utilizada: Temperatura do ar Orientação da janela: Oeste								
Data	Ti, máx	Te, máx dia	Te,máx – Ti,máx	Nível de desempenho				
	°C	°C	°C		NA	M	I	S
01/mar	31,24	30,00	-1,24	Não atende	1			
02/mar	30,19	30,30	0,11	Mínimo		1		
03/mar	31,21	29,70	-1,51	Não atende	1			
04/mar	30,58	29,40	-1,18	Não atende	1			
05/mar	30,16	29,00	-1,16	Não atende	1			
06/mar	31,44	31,30	-0,14	Não atende	1			
07/mar	31,23	31,20	-0,03	Não atende	1			
08/mar	31,12	30,50	-0,62	Não atende	1			
09/mar	31,78	31,50	-0,28	Não atende	1			
10/mar	31,45	31,20	-0,25	Não atende	1			
11/mar	31,50	31,20	-0,30	Não atende	1			
12/mar	31,15	30,80	-0,35	Não atende	1			
13/mar	31,22	30,40	-0,82	Não atende	1			
14/mar	30,96	30,50	-0,46	Não atende	1			
15/mar	31,16	30,30	-0,86	Não atende	1			
16/mar	33,20	33,70	0,50	Mínimo		1		
17/mar	31,25	30,70	-0,55	Não atende	1			
18/mar	33,24	34,40	1,16	Intermediário			1	
19/mar	32,85	33,10	0,25	Mínimo		1		
20/mar	33,36	34,60	1,24	Intermediário			1	
21/mar	33,14	33,80	0,66	Mínimo		1		

APÊNDICE B

Resultados do teste da metodologia: FDT

TABELA 18 - Resultados do teste da metodologia FDT para variação da ocupação – Dezembro

FDT - dezembro		
DATAS	Dormitório com cargas internas (TO*)	Dormitório sem cargas internas (TO*)
21/dez	100%	100%
22/dez	100%	100%
23/dez	100%	100%
24/dez	100%	100%
25/dez	100%	75%
26/dez	100%	100%
27/dez	100%	100%
28/dez	100%	51,24%
29/dez	100%	74,87%
30/dez	100%	100%
31/dez	100%	56,60%

*Obs.: TO - Temperatura Operativa.

TABELA 19 - Resultados do teste da metodologia FDT para variação da ocupação – Janeiro

FDT - janeiro		
DATAS	Dormitório com cargas internas (TO*)	Dormitório sem cargas internas (TO*)
01/jan	0%	0%
02/jan	0%	0%
03/jan	0%	0%
04/jan	0%	0%
05/jan	94,20%	29,26%
06/jan	100%	64,72%
07/jan	100%	100%
08/jan	100%	100%
09/jan	100%	100%
10/jan	100%	90,74%
11/jan	100%	100%
12/jan	100%	100%
13/jan	100%	100%
14/jan	93,90%	24,59%
15/jan	0%	0%
16/jan	0%	0%
17/jan	100%	75,31%
18/jan	100%	100%
19/jan	100%	100%
20/jan	100%	100%
21/jan	100%	100%
22/jan	97,10%	0%
23/jan	10,20%	0%
24/jan	71,80%	0%
25/jan	100%	87,09%
26/jan	100%	100%
27/jan	100%	100%
28/jan	100%	100%
29/jan	100%	100%
30/jan	100%	100%
31/jan	93,98%	0%

TABELA 20 - Resultados do teste da metodologia FDT para variação da ocupação – Fevereiro

FDT - fevereiro		
DATAS	Dormitório com cargas internas (TO*)	Dormitório sem cargas internas (TO*)
01/fev	100%	87,95%
02/fev	100%	90,87%
03/fev	0%	0%
04/fev	95,20%	0%
05/fev	100%	47,08%
06/fev	100%	100%
07/fev	100%	100%
08/fev	100%	100%
09/fev	100%	91,08%
10/fev	99,50%	82,46%
11/fev	100%	100%
12/fev	0%	0%
13/fev	92,60%	0%
14/fev	0%	0%
15/fev	0%	0%
16/fev	100%	39,71%
17/fev	100%	83,98%
18/fev	93,20%	0
19/fev	100%	85,09%
20/fev	100%	100%
21/fev	100%	83,99%
22/fev	100%	47,40%
23/fev	86,20%	12,02%
24/fev	56,70%	0%
25/fev	100%	100%
26/fev	100%	100%
27/fev	100%	28,42%
28/fev	100%	67,65%

TABELA 21 - Resultados do teste da metodologia FDT para variação da ocupação – Março

FDT – março		
DATAS	Dormitório com cargas internas (TO*)	Dormitório sem cargas internas (TO*)
01/mar	100%	56,05%
02/mar	97,50%	15,52%
03/mar	100%	72,97%
04/mar	100%	28,99%
05/mar	89,40%	12,08%
06/mar	100%	60,53%
07/mar	100%	49,72%
08/mar	100%	61,11%
09/mar	100%	78,44%
10/mar	100%	70,53%
11/mar	100%	75,49%
12/mar	100%	52,86%
13/mar	100%	55,82%
14/mar	100%	48,49%
15/mar	100%	49,15%
16/mar	100%	100%
17/mar	100%	52,05%
18/mar	100%	100%
19/mar	100%	100%
20/mar	100%	100%
21/mar	100%	100%

**Obs.: Os gráficos tratados no Autocad estão salvos no CD em anexo.

APÊNDICE C

Resultados do comparativo entre modelos de janelas: FDT

TABELA 22 - FDT - Modelos A e B para dezembro

FREQÜÊNCIA DESCONFORTO TÉRMICO								
	RESULTADOS MODELO A				RESULTADOS MODELO B			
DATA	SUL	OESTE	NORTE	LESTE	SUL	OESTE	NORTE	LESTE
21/dez	100	100	100	100	67,4	68,2	64,9	68,6
22/dez	100	100	100	100	100	100	100	100
23/dez	100	100	100	100	100	100	100	100
24/dez	100	100	100	100	100	100	99,28	100
25/dez	100	100	100	100	69,7	69,5	65,1	69,9
26/dez	100	100	100	100	86,4	92,38	85	88,2
27/dez	100	100	100	100	100	100	100	100
28/dez	100	100	100	100	61	61,5	56	61,3
29/dez	100	100	81,3	100	65,3	63,5	61,1	66,1
30/dez	100	100	100	100	100	100	100	100
31/dez	100	100	100	100	51,2	53,5	37,6	61,4
média	100	100	98,3	100	81,9	82,6	79,0	83,2

TABELA 23 - FDT - Modelos A e B para janeiro

FREQUÊNCIA DESCONFORTO TÉRMICO								
	RESULTADOS MODELO A				RESULTADOS MODELO B			
DATA	SUL	OESTE	NORTE	LESTE	SUL	OESTE	NORTE	LESTE
01/jan	0	0	0	0	0	0	0	0
02/jan	0	0	0	0	0	0	0	0
03/jan	0	0	0	0	0	0	0	0
04/jan	0	0	0	0	0	0	0	0
05/jan	91,1	94,2	88,75	92,6	26,1	41,7	16,1	20,7
06/jan	100	100	98,4	100	44,1	62,6	27,78	40,1
07/jan	100	100	100	100	73,3	85,4	66,3	79,8
08/jan	100	100	100	100	77,1	86,6	68,4	85,3
09/jan	100	100	100	100	70	78,1	67,5	75,8
10/jan	100	100	100	100	69,9	73,6	64,2	71,5
11/jan	100	100	100	100	94,1	100	100	100
12/jan	100	100	100	100	100	100	100	100
13/jan	100	100	96,2	100	100	100	100	100
14/jan	90,7	93,9	92,5	93,3	21	36,6	30,1	27,6
15/jan	0	0	0	0	0	0	0	0
16/jan	0	0	0	13,6	0	0	0	0
17/jan	100	100	97,9	100	45,9	61,4	37	62,6
18/jan	100	100	100	100	100	100	100	100
19/jan	100	100	100	100	85,3	100	76,2	91,3
20/jan	100	100	100	100	90,3	100	79,7	94,7
21/jan	100	100	100	100	77,5	80,5	73,7	93,8
22/jan	87,1	97,1	99,8	100	22,5	29,5	32,3	33,3
23/jan	3,4	10,2	10,6	38,57	0	0	0	0
24/jan	75	71,8	67,7	92,9	0	0	0	0
25/jan	100	100	100	100	64,9	65,8	63,4	66,5
26/jan	100	100	100	100	100	100	100	100
27/jan	100	100	100	100	100	100	89,2	100
28/jan	100	100	100	100	100	100	100	100
29/jan	100	100	100	100	100	100	100	100
30/jan	100	100	100	100	100	100	100	100
31/jan	92,1	93,98	92,1	95,4	8,1	15,6	8,9	13,4
média	75,5	76,2	75,6	78,3	53,9	58,6	51,6	56,7

TABELA 24 - FDT - Modelos A e B para fevereiro

FREQUÊNCIA DESCONFORTO TÉRMICO								
	RESULTADOS MODELO A				RESULTADOS MODELO B			
DATA	SUL	OESTE	NORTE	LESTE	SUL	OESTE	NORTE	LESTE
01/fev	100	100	100	100	61,1	66,3	61,5	62,4
02/fev	100	100	100	100	63,7	68,1	61,7	70,2
03/fev	0	0	0	0	0	0	0	0
04/fev	96,9	95,2	85,5	100	19	18,3	7	38,7
05/fev	99,3	100	97,1	100	34,8	48,1	29,2	34,1
06/fev	100	100	100	100	100	100	90,7	100
07/fev	100	100	100	100	72,6	97,6	71,3	91,8
08/fev	100	100	100	100	67,5	69,5	60,6	71,9
09/fev	100	100	100	100	53,5	58,9	52,8	57,6
10/fev	92	99,5	92,7	94,8	56,7	59	57,7	58,8
11/fev	100	100	100	100	100	100	100	100
12/fev	0	0	0	0	0	0	0	0
13/fev	48,7	92,6	48,5	95,1	0	8	0	19,6
14/fev	0	0	0	0	0	0	0	0
15/fev	0	0	0	0	0	0	0	0
16/fev	96,2	100	99,7	100	29,8	40,2	31,6	39,89
17/fev	100	100	100	100	60,6	65,6	56,9	66,1
18/fev	93,1	93,2	62,2	100	0	0	0	0
19/fev	100	100	100	100	64,1	65,8	61,1	66
20/fev	100	100	100	100	57,7	64	54,3	63,3
21/fev	100	100	100	100	52,9	59	50,9	59,7
22/fev	99,4	100	100	100	35,7	42	37,6	40,6
23/fev	52,4	86,2	69,6	71,8	0	21	14,8	9,3
24/fev	46,8	56,7	47	51	0	0	0	0
25/fev	100	100	100	100	64,3	64,9	62,8	66,9
26/fev	100	100	100	100	59,2	75,8	59,4	66,9
27/fev	100	100	100	100	30	35,2	29,1	40,8
28/fev	100	100	100	100	45,2	52,5	43,9	52,5
média	79,5	83,0	78,7	82,6	40,3	45,7	39,1	45,6

TABELA 25 - FDT - Modelos A e B para março

FREQUÊNCIA DESCONFORTO TÉRMICO								
	RESULTADOS MODELO A				RESULTADOS MODELO B			
DATA	SUL	OESTE	NORTE	LESTE	SUL	OESTE	NORTE	LESTE
01/mar	100	100	100	100	42,3	45,2	40,8	47,5
02/mar	61	97,5	88,4	90,1	0	45,1	20,9	14,5
03/mar	100	100	100	100	50,5	56,6	50,6	58,2
04/mar	97,1	100	100	100	54,5	35,4	33,4	39,3
05/mar	48,1	89,4	69,2	86,8	7,5	19,8	14,8	14,6
06/mar	100	100	100	100	41,3	45,2	42,2	47,5
07/mar	100	100	100	100	36,2	41	39,2	43,2
08/mar	100	100	100	100	42,2	45,4	41	49,2
09/mar	100	100	100	100	48,6	57,7	47,6	62
10/mar	100	100	100	100	45,5	50,5	45,1	51,9
11/mar	100	100	100	100	49,7	56	48,3	62
12/mar	100	100	100	100	38,8	43	41,1	47,7
13/mar	100	100	100	100	39,7	45,4	41,7	47,2
14/mar	100	100	100	100	38,9	42,7	39,7	44,9
15/mar	100	100	100	100	37	42,6	38,9	47,5
16/mar	100	100	100	100	74,8	76,4	73,5	80
17/mar	100	100	100	100	44,2	47,9	51,4	60,4
18/mar	100	100	100	100	100	100	100	100
19/mar	100	100	100	100	100	100	100	100
20/mar	100	100	100	100	100	100	100	100
21/mar	100	100	100	100	88,7	94	92,1	95,4
média	95,5	99,4	98,0	98,9	51,4	56,7	52,5	57,8

*Obs.: Os gráficos tratados no Autocad estão salvos no CD em anexo.

TABELA 26 - FDT – Resultados da amostra com IC de 99% para os modelos A e B

FREQUÊNCIA DE DESCONFORTO TÉRMICO								
RESULTADOS MODELO A					RESULTADOS MODELO B			
DATA	SUL	OESTE	NORTE	LESTE	SUL	OESTE	NORTE	LESTE
21/dez	100	100	100	100	67,4	68,2	64,9	68,6
05/jan	91,1	94,2	88,75	92,6	26,1	41,7	16,1	20,7
06/jan	100	100	98,4	100	44,1	62,6	27,78	40,1
17/jan	100	100	97,9	100	45,9	61,4	37	62,6
22/jan	87,1	97,1	99,8	100	22,5	29,5	32,3	33,3
25/jan	100	100	100	100	64,9	65,8	63,4	66,5
01/fev	100	100	100	100	61,1	66,3	61,5	62,4
08/fev	100	100	100	100	67,5	69,5	60,6	71,9
09/fev	100	100	100	100	53,5	58,9	52,8	57,6
10/fev	92	99,5	92,7	94,8	56,7	59	57,7	58,8
19/fev	100	100	100	100	64,1	65,8	61,1	66
20/fev	100	100	100	100	57,7	64	54,3	63,3
21/fev	100	100	100	100	52,9	59	50,9	59,7
25/fev	100	100	100	100	64,3	64,9	62,8	66,9
01/mar	100	100	100	100	42,3	45,2	40,8	47,5
03/mar	100	100	100	100	50,5	56,6	50,6	58,2
06/mar	100	100	100	100	41,3	45,2	42,2	47,5
09/mar	100	100	100	100	48,6	57,7	47,6	62
10/mar	100	100	100	100	45,5	50,5	45,1	51,9
11/mar	100	100	100	100	49,7	56	48,3	62
17/mar	100	100	100	100	44,2	47,9	51,4	60,4

APÊNDICE D

Resultados do comparativo entre modelos de janelas: IDT

TABELA 27 - IDT – Resultados da amostra com IC de 99% para os modelos A e B

INTENSIDADE DE DESCONFORTO TÉRMICO (°C.h)								
RESULTADOS MODELO A					RESULTADOS MODELO B			
DATA	SUL	OESTE	NORTE	LESTE	SUL	OESTE	NORTE	LESTE
21/dez	47,705	57,45	37,695	56,42	17,15	20,425	11,28	18,73
05/jan	16,875	26,69	12,67	16,285	2,32	4,59	0,9	1,47
06/jan	26,05	36,53	19,205	24,235	5,93	9,3	1,92	3,79
17/jan	31,24	44,36	27,71	41,12	7,74	12,305	5,81	10,025
22/jan	12,8	18,375	19,04	22,925	1,24	2,65	2,92	3,22
25/jan	46,965	48,925	42,065	50,8	17,315	17,59	13,515	18,04
01/fev	43,425	53,66	44,9	46,53	15,405	19,795	15,845	16,14
08/fev	53,565	64,235	45,11	65,175	19,97	23,53	14,76	23,73
09/fev	42,005	54,12	39,825	49,11	13,21	17,09	11,24	14,86
10/fev	31,385	47,325	32,97	37,215	9,61	16,045	9,92	11,13
19/fev	40,385	48,65	36,48	47,75	13,13	15,915	10,33	14,685
20/fev	38,94	52,12	34,88	48,81	11,71	16,15	9,07	13,63
21/fev	39,555	52,08	36,49	52,065	11,37	15,2	9,96	14,42
25/fev	48,265	59,29	44,94	62,265	17,545	20,655	14,555	21,845
01/mar	29,945	40,415	29,675	44,025	8,05	10,19	6,94	10,91
03/mar	33,505	42,505	34,545	45,59	8,26	11,07	7,97	11,23
06/mar	30,225	41,765	32,795	42,255	7,75	10,62	8,11	11,33
09/mar	38,325	47,015	38,53	53,95	11,36	13,28	10,71	16,15
10/mar	31,4	43,045	33,245	45,515	8,46	11,14	8,23	11,2
11/mar	36,81	46,17	37,765	52,605	11,03	12,87	10,6	15,51
17/mar	30,995	37,71	40,72	45,415	7,85	9,77	10,95	12,55

*Obs.: Os gráficos tratados no Origin estão salvos no CD em anexo.