

EDNA APARECIDA NICO-RODRIGUES

# Influência da janela no desempenho térmico de ambientes ventilados naturalmente

Tese apresentada ao Programa de Doctorado en Arquitectura y Urbanismo da Facultad de Arquitectura, Construcción y Diseño, da Universidad del Bio-Bío, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Doutor em Arquitectura y Urbanismo.

Professora Guia: Dra. Maria Beatriz Piderit Moreno

Concepción/Chile

2015



EDNA APARECIDA NICO RODRIGUES

# Influência da janela no desempenho térmico de ambientes ventilados naturalmente

Tese apresentada ao programa de pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidad del Bío – Bío, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Doutor em Arquitetura e Urbanismo.

Comissão Examinadora

Profa. Dr<sup>a</sup>. Maria Beatriz Piderit Moreno – Universidad del Bío-Bío, Chile

Profa. Dr<sup>a</sup>. Cristina Engel de Alvarez – Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

Prof. Dr. Luis Bragança – Universidade do Minho, Portugal

Prof. Dr. Felipe Encinas – Universidad Católica de Chile, Chile

Prof. Dr. Rodrigo García Alvarado- Universidad del Bío-Bío, Chile

Prof. Dr. Ariel Bobadilla Moreno - Universidad del Bío-Bío, Chile



## DEDICATÓRIA

Ao meu **DEUS**, que tudo permite, e por quem eu vivo.  
Aos meus **PAIS** (*in memoriam*) - **Amério e Jovelina** - que dedicaram toda sua vida para que  
este momento fosse concretizado, muito obrigado...

## AGRADECIMENTOS

Ao meu esposo **Artur Moreira Rodrigues** pelo incentivo, compreensão e respeito pelo tempo dedicado à pesquisa.

Aos meus **irmãos** pelo incentivo incondicional e a espera sem cobrança.

A Professora e orientadora Maria Beatriz pela dedicação e atenção dedicada a todas as etapas da tese e pelo esforço incondicional de entender e ler em português.

A Professora e co-orientadora Cristina pelas inúmeras conversas, discussões e persistência na formação de uma consciência científica.

Ao Departamento de Arquitetura e Urbanismo por possibilitar dedicação total às atividades do doutorado.

Ao Programa de Pós graduação em Arquitetura e Urbanismo da Univerdad del Bío-Bío, pelo respeito e interesse da proposta de tese.

A todos aqueles que contribuíram para que esta pesquisa se tornasse um projeto concreto.

Aos colegas (internacionais) de doutorado pela cumplicidade dos conhecimentos adquiridos e a proveitosa convivência.

A Emanuela Altoé, Márcia Bissoli e Laline Cenci pelas inúmeras conversas, viagens e esforços que culminaram em conclusões e deduções sobre a trajetória da tese.

A Amábeli Dell Santo pelas inúmeras horas de discussões sobre sua dissertação e que originou grandes resultados para a tese. Ao André Donadello por ter aceitado testar a metodologia da tese em sua pesquisa de mestrado.

Ao professor Augusto Alvarenga pelo apoio na fase de simulações.

Aos secretários do programa pelo atendimento paciente e dedicado.

A todos do Laboratório de Planejamento e Projeto, da Universidade Federal do Espírito Santo pelas conversas e bate-papos que levaram em ideias para o trabalho.

## RESUMO

A história das janelas em edificações registra que os processos tecnológicos conduziram a eliminação de elementos que outrora foram criados para promover a renovação do ar interior através do aproveitamento da ventilação natural. A partir das crises energéticas mundial e brasileira, os benefícios atribuídos ao uso dos condicionantes naturais foram valorizados como elementos capazes de reduzir o consumo de energia e melhorar as condições térmicas dos ambientes internos. A investigação iniciou da premissa que a partir do tipo adequado de janela para um determinado ambiente, é possível obter melhor desempenho térmico considerando a ventilação natural como principal estratégia de conforto. Neste contexto objetivou analisar o comportamento de tipos de janela no desempenho térmico de ambientes ventilados naturalmente. Estabeleceu uma metodologia de avaliação específica visando identificar os modelos mais eficientes para edificações multifamiliares, na cidade Vitória/ES (Brasil), com ênfase no conforto térmico. Os objetivos específicos foram: 1) identificar e caracterizar os tipos de janelas utilizados nas edificações multifamiliares; 2) estabelecer uma metodologia de avaliação de desempenho, a partir da análise conjunta de dois índices de conforto adaptativo; e 3) avaliar o desempenho do ambiente (dormitório) considerando o tipo de janela mais usual e compará-lo aos tipos de janela conceitualmente mais adequados às condições climáticas de Vitória. Para a definição do modelo mais usual de janela, realizou uma pesquisa de campo com 1.999 indivíduos, sendo adotado o que obteve 42% de ocorrência. A metodologia de avaliação, adotou a temperatura operativa como fator de análise e o *DesignBuilder* como simulador. Os índices de conforto adaptativo foram à frequência e a quantidade de graus horas de desconforto térmico, definidos para cada dia do ano, obtidos da análise horária das temperaturas. O ambiente avaliado foi o dormitório 1 de um edificação de 5 pavimentos, sendo simulados os 1º, 3º e último pavimento, para as quatro orientações principais e considerando o período de um ano. Os resultados obtidos com as simulações da janela usual foram comparados aos outros dois modelos propostos considerando as recomendações das normas de desempenho brasileiras. Os resultados obtidos evidenciaram a melhoria nas condições internas do ambiente a partir da adoção de elementos incorporados na janela que permitem a ventilação e sombreamento das aberturas.

**PALAVRAS CHAVE:** Janelas. Ventilação Natural. Conforto adaptativo. Metodologia de avaliação de desempenho térmico.

## RESUMEN

La historia de las ventanas en los edificios apunta que el proceso tecnológico ha sido conducido de manera a casi eliminar los elementos que se han creado para promover la renovación del aire interior mediante el uso de la ventilación natural. Desde las crisis energéticas brasileñas y mundial, los beneficios atribuidos al uso de los elementos naturales fueron valorados en cuanto elementos capaces de reducir el consumo de energía y mejorar las condiciones térmicas de los ambientes internos. Esta investigación tiene como punto de partida la premisa de que con el tipo adecuado de ventana para un ambiente, sería posible obtener un mejor desempeño térmico teniendo en cuenta la ventilación natural como principal estrategia de confort. En este contexto, analizo el comportamiento de los tipos de ventana para el desempeño térmico de ambientes con ventilación natural. Ha sido establecido una metodología de evaluación específica para identificar los modelos más eficientes para los edificios multifamiliares en la ciudad de Vitória / ES (Brasil), con énfasis en el confort térmico. Objetivos específicos fueron: 1) identificar y caracterizar los tipos de ventanas más frecuentemente utilizados en los edificios multifamiliares; 2) establecer una metodología de desempeño, a partir del análisis combinado de dos índices de confort adaptativo; y 3) evaluar el desempeño del dormitorio teniendo en cuenta el tipo más utilizado de ventana y compararlo con dos tipos conceptualmente más adecuados a las condiciones climáticas de Vitória. Para definir el tipo de ventana más reincidente, fue hecho un estudio de campo con 1.999 edificaciones, resultando en el tipo, con 42% de ocurrencia. Para la metodología de evaluación, se adoptó la temperatura operativa como el factor de análisis y el DesignBuilder como simulador. Los índices de confort adaptativo fueron la frecuencia y el número de grado-horas de desconfort térmico, definidos para cada día del año, obtenida del análisis horario de las temperaturas. El modelo fue el dormitorio de un edificio de 5 pisos, siendo evaluados el primer, tercer y último piso, considerando las cuatro orientaciones principales y teniendo en cuenta el período de un año. Los resultados con la ventana más común se compararon los demás modelos propuestos, teniendo en cuenta las recomendaciones de las normas de desempeño brasileñas. Los resultados revelaron una mejora en las condiciones internas del ambiente frente a la utilización de elementos constituyentes de la ventana que permiten la ventilación y el sombreado de las aberturas.

**PALABRAS - CLAVES:** Ventanas. Ventilación Natural. Confort adaptativo. Metodología de evaluación de desempeño térmico.

## ABSTRACT

The history of the windows in the building has recorded that the technological processes resulted in the elimination of elements that were once created to promote the renewal of the interior air through the use of natural ventilation. Starting from the Brazilian and global energy crises, the benefits attributed to the use of natural conditions were valued as an approach to reduce the energy consumption and to improve the thermal conditions of the rooms. The investigation initiated from the premise that with an appropriate type of window for a certain room, it is possible to obtain a better thermal performance considering natural ventilation as a primary strategy of comfort. In this context, the research aimed to analyze the performance of different types of window on the thermal performance of naturally ventilated rooms. A specific assessment methodology has been established to identify the most efficient type of window for multi-family buildings in the city Vitória / ES (Brazil), with emphasis on thermal comfort. The specific aims were: 1) identify and characterize the types of windows used in multi-family buildings; 2) establish a methodology for evaluating the performance, from the analyses of two adaptive comfort indexes; 3) evaluate the performance of the standard room (dormitory) considering the most common type of window and compare it to the most conceptually appropriate window types to the climatic conditions of Vitoria. For the definition of the most common type of window, was performed a field survey with 1.999 individuals being adopted which obtained 42% of the occurrence. The proposed methodology for evaluating the thermal performance was used operating temperature as factor analysis and DesignBuilder as a tool for simulations. The adaptive comfort indexes used were based on the frequency and quantity of degrees hours of thermal discomfort, defined for each day of the year, obtaining from the analysis of hourly temperatures. The standard room evaluated was the dormitory of a building with five floors, and it was simulated the first, third and last floor in the four main orientations and all year round. The results obtained were compared to two other windows types considering the recommendations of the Brazilian performance standards.

**KEYWORDS:** Windows. Natural ventilation. Adaptive comfort. Methodology for assessing thermal performance.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de delimitação do problema.....	29
Figura 2: Metodologia utilizada para atendimento aos objetivos .....	36
Figura 3: Peristilo nas casas gregas .....	40
Figura 4: Janelas na Renascença .....	40
Figura 5: Janela Barroca.....	41
Figura 6: Palácio de Cristal .....	41
Figura 7: Ville Savoye.....	41
Figura 8: Elementos e variáveis da janela para definição de tipos diferentes de janelas .....	42
Figura 9: Tipos de composição com os elementos permeáveis à ventilação utilizados ao longo da história da arquitetura brasileira .....	44
Figura 10: Alguns exemplos de janelas com o uso de veneziana e persiana .....	45
Figura 11: Posicionamento dos dispositivos de sombra .....	46
Figura 12: Tipos de dispositivos de sombra horizontais e verticais .....	46
Figura 13: Fatores interferentes na definição dos dispositivos de sombra .....	47
Figura 14: Flutuações do rendimento médio da incidência do vento para três formatos de abertura .....	51
Figura 15: a) Posicionamento das aberturas e b) Percentual de vento em relação à porosidade da parede .....	52
Figura 16: Tipos de janelas utilizadas em edifícios residenciais multifamiliares .....	53
Figura 17: Fluxo do vento no entorno dos edifícios considerando 3 tipos de distribuição espacial .....	66
Figura 18: Comportamento do fluxo de ar em diversificadas soluções em plantas baixas .....	67
Figura 19: Fluxo de vento de acordo com a tipologia arquitetônica.....	67
Figura 20: Velocidade média interna no ambiente em relação às aberturas de entrada e saída do ar para dois ângulos diferentes de incidência (45° e 90°).....	68
Figura 21: Distribuição do fluxo de vento de acordo com a localização das aberturas para a orientação de incidência do vento perpendicular e oblíqua à abertura. Trabalho desenvolvido por Baruch Givoni em 1976 ....	68
Figura 22: Venezianas móveis para a regulação do fluxo de ar .....	69
Figura 23: Interferência dos componentes verticais na distribuição do fluxo de ar no interior dos ambientes (pesquisa desenvolvida por Otto H. Koennigsberger e outros em 1976).....	70
Figura 24: Clima do Brasil .....	90
Figura 25: (a) - Localização da cidade de Vitória e (b) - Imagem aérea da cidade de Vitória .....	91
Figura 26: Bairros da cidade de Vitória com destaque para os bairros selecionados para o estudo de campo .....	94
Figura 27: Características das janelas.....	95
Figura 28: Exemplo da obtenção dos limites de temperatura de conforto, de acordo com os índices de aceitabilidade dos usuários demonstrados na ASHRAE 55 .....	97
Figura 29: Demonstrativo da obtenção do FDT diário .....	99
Figura 30: Demonstrativo da obtenção do GhDT diário .....	100
Figura 31: Diagrama de fluatibilidade dos indicadores FDT e GhDT .....	101
Figura 32: Modelo de edificação multifamiliar (planta baixa e corte esquemático).....	103
Figura 33: Modelos de janelas adotados para análise da influência do desempenho .....	120

Figura 34: Posicionamento da abertura para cada orientação utilizando as simulações com o software Wind Tunnel-Pro .....	121
Figura 35: Desenhos adicionais de janelas considerando os resultados obtidos nas simulações e de acordo com as normas pertinentes .....	144

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Resumo do método de pesquisa.....	33
Quadro 2: Sistemas de aberturas para janelas.....	48
Quadro 3: Índices de conforto térmico, com destaque para os índices estudados para o clima tropical (*), o clima subtropical(**) e o clima temperado(***).....	60
Quadro 4: Condições térmicas mínimas de desempenho de acordo com a NBR 15.575 .....	77
Quadro 5: Descrição dos índices de acordo com a classificação da família .....	78
Quadro 6: Planilha de registro fotográfico, descritivo e quantitativo dos tipos de janela utilizado na pesquisa de campo .....	94
Quadro 7: Caracterização dos modelos de janela .....	112
Quadro 8: Resultados relativos às situações com melhor e pior desempenho .....	140

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Demanda de energia atual e prevista para os setores residencial e comercial em quadrilhões de BTUs .....	22
Gráfico 2: Histórico do consumo de energia (GWh) no Brasil para o setor residencial .....	22
Gráfico 3: Modelo de conforto adaptativo.....	64
Gráfico 4: Flutuação de desconforto térmico.....	83
Gráfico 5: Frequência de ocorrência e direção dos ventos, para a cidade de Vitória. a) Direção e velocidade do vento; b) Frequência da velocidade do vento.....	91
Gráfico 6: Variações da temperatura externa em Vitória.....	92
Gráfico 7: Percentuais de modelos de janelas encontradas nas edificações residenciais multifamiliares nos bairros de Vitória .....	112
Gráfico 8: Cores de vidro observado nas janelas .....	114
Gráfico 9: Tipos de materiais observados nos modelos de janelas .....	115
Gráfico 10: Cores do alumínio observadas nos modelos de janelas .....	115
Gráfico 11: Sistemas de aberturas mais utilizados nas janelas .....	115
Gráfico 12: Diagramas de fluutuabilidade dos três modelos de janela para o verão .....	124
Gráfico 13: Resultado do somatório de FDT e GhDT para o verão .....	126
Gráfico 14: Diagrama de fluutuabilidade dos três modelos de janela para o outono .....	129
Gráfico 15: Resultado do somatório de FDT e GhDT para o outono .....	131
Gráfico 16: Diagramas de fluutuabilidade dos três modelos de janela para o inverno .....	134
Gráfico 17: Resultado do somatório de FDT e GhDT para o inverno .....	135
Gráfico 18: Diagramas de fluutuabilidade dos três modelos de janela para a primavera .....	137
Gráfico 19: Resultado do somatório de FDT e GhDT para primavera .....	139

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: As capitais brasileiras com percentuais de necessidade para o uso da ventilação natural acima de 50% .....	70
Tabela 2: Detalhamento das camadas das paredes com as propriedades térmicas .....	105
Tabela 3: Detalhamento das dimensões da abertura, a área destinada à ventilação e a operacionalização definida para cada modelo .....	106
Tabela 4: Propriedades térmicas dos materiais que compõem a janela .....	106
Tabela 5: Propriedades térmicas das lajes e coberturas .....	107
Tabela 6: Parâmetro de ocupação, características e ganhos térmicos dos equipamentos .....	107
Tabela 7: Quantificação das janelas e tipos .....	111
Tabela 8: Médias mensais das temperaturas do ar externo, temperatura neutra e o intervalo de temperatura de conforto térmico baseado no modelo de conforto adaptativo da ASHRAE 55. Em destaque as temperaturas de conforto adotadas .....	118
Tabela 9: Valores do intervalo de confiança de cada estação para a definição dos dias para análise .....	118
Tabela 10: Dias definidos por meio do intervalo de confiança obtido da temperatura externa diária para as estações do ano .....	118
Tabela 11: Valores referenciais, do dia com maior GhDT, obtidos do modelo MA, em cada orientação. Em destaque o valor adotado .....	119

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAVIDRO	Associação Brasileira de Distribuidores e Processadores de Vidros Planos
ASHRAE	<i>American Society of Heating Refrigerating and Air conditioning Engineers</i>
BEN	Balanco Energético Nacional
BTUs	<i>British Thermal Unit</i>
CEN	<i>European Committee for Standardization</i>
CIBSE	<i>Chartered Institution of Building Services Engineers</i>
GWh	Giga-watt-hora
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
ISO	<i>International Standard Organization</i>
LabEEE	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
MME	Ministério de Minas e Energia
NBR	Normas Brasileiras
OCDE	<i>Organization for Economic Cooperation and Development</i>
PROCEL	Programa de Conservação de Energia
PMV	<i>Predicted Mean Vote</i>
PPD	<i>Percentage of Dissatisfied</i>
RTQ-C	Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos
RTQ-R	Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais Unifamiliares e Multifamiliares
SINDUSCON	Sindicato das Indústrias da Construção Civil
UFES	Universidade Federal do Espírito Santo

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>21</b>
1.1	Objetivo	32
1.2	Metodologia	32
<b>2</b>	<b>ABORDAGEM TEÓRICA</b>	<b>39</b>
2.1	Evolução das janelas	39
2.1.1	Elementos e variáveis	41
2.2	Conforto térmico	55
2.2.1	Modelo adaptativo	57
2.2.2	Índices de conforto térmico	59
2.2.3	Normas de conforto térmico	63
2.3	Ventilação natural	65
2.3.1	Ambientes ventilados naturalmente	71
2.4	Desempenho térmico em edificações residenciais multifamiliares	74
2.4.1	Normatização brasileira para o desempenho térmico em edificações	75
2.4.2	Índices, ferramentas e métodos de avaliação de desempenho térmico	78
2.5	Considerações dos temas da abordagem teórica	84
<b>3</b>	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO</b>	<b>89</b>
3.1	Caracterização do sítio	89
3.2	Levantamento de campo	92
3.2.1	Área amostral	93
3.2.2	Procedimentos para coleta de dados	94
3.2.3	Representação e Avaliação dos resultados	95
3.3	Metodologia de avaliação de desempenho térmico	96
3.3.1	Índices de conforto térmico	98
3.3.2	Representação dos resultados da avaliação de desempenho	100
3.3.3	Avaliação dos resultados	101
3.4	Configurações dos modelos	102
3.4.1	Modelos de edifício e janelas	103
3.4.2	Parâmetros de simulação	105
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>111</b>

<b>4.1</b>	<b>Caracterização física dos elementos das janelas .....</b>	<b>111</b>
<b>4.2</b>	<b>Definição das temperaturas e do intervalo de confiança .....</b>	<b>117</b>
<b>4.3</b>	<b>Simulações .....</b>	<b>119</b>
4.3.1	Verão .....	122
4.3.2	Outono .....	127
4.3.3	Inverno.....	132
4.3.4	Primavera.....	135
<b>4.4</b>	<b>Diretrizes para modelos de janelas .....</b>	<b>140</b>
<b>4.5</b>	<b>Considerações dos resultados e discussões.....</b>	<b>145</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>149</b>
<b>5.1</b>	<b>Atendimento aos objetivos propostos.....</b>	<b>150</b>
<b>5.2</b>	<b>Produto da pesquisa .....</b>	<b>152</b>
<b>5.3</b>	<b>Trabalhos futuros e desencadeamento da tese.....</b>	<b>153</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>157</b>
	<b>APÊNDICE .....</b>	<b>177</b>

# 1 INTRODUÇÃO



## 1 INTRODUÇÃO

A crescente evolução das cidades impulsionou o surgimento de materiais e de processos tecnológicos que, com raras exceções, elevaram o consumo de energia em todas as etapas de produção, desde a extração da matéria prima até a destinação final do produto. A arquitetura contemporânea incorporou processos, que estão vinculados ao crescimento do setor das construções e no surgimento de novas tecnologias. Este novo conceito de arquitetura, entre outros aspectos, tem como direcionamento o uso correto e eficiente de materiais objetivando minimizar ou eliminar o consumo excessivo de energia nas edificações.

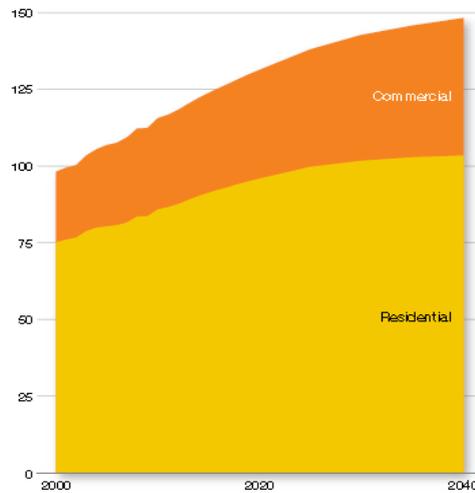
Conforme Šumarac et al., (2010) nos países desenvolvidos, o consumo de energia tanto no setor residencial como no comercial, sofreu um aumento de 20% a 40% e com previsão de aumento para as próximas décadas. Os estudos demonstraram que o uso de algumas tecnologias convencionais para a eficiência energética – tais como o isolamento térmico, janelas com baixa emissividade, coberturas com beirais maiores e o controle da iluminação natural –, podem auxiliar a diminuir o consumo de energia nos edifícios de 20% a 30% e dependendo da localização e volumetria, a redução pode ser de até 40%.

Segundo Jonsson e Roos (2010) de toda a energia primária consumida no mundo, 30 a 40% é usado nos edifícios, sendo que o setor da construção é o que oferece maior potencial para a melhoria da eficiência energética. As janelas, como componentes da edificação, representam o componente que possui menos isolante térmico da envoltória e, portanto, um elemento-chave no alcance do menor consumo de energia em edifícios.

As atitudes que promovem soluções para diminuir o consumo energético em edifícios são, normalmente, ações governamentais que priorizam os critérios para eficiência energética, construção sustentável e promoção de fontes renováveis de energia (MARCONDES, 2010, STAVRAKAKIS et al., 2012 ).

A International Energy Outlook (2013) desenvolveu estudos que demonstram a tendência dos países em desenvolvimento – não pertencentes à *Organization for Economic Cooperation and Development* - OCDE – de necessitar, em 2040, de uma demanda por energia 65% superior em relação a 2010, refletindo uma crescente prosperidade e expansão da economia. Por outro lado, a demanda global de energia crescerá 35%, mesmo com a utilização de tecnologias e equipamentos energeticamente mais eficientes, ocasionado pela previsão do crescimento populacional de 7 milhões em 2010, para aproximadamente 9 milhões em 2040, conduzido pelo crescimento econômico da África e da Índia, conforme demonstrado no Gráfico 1.

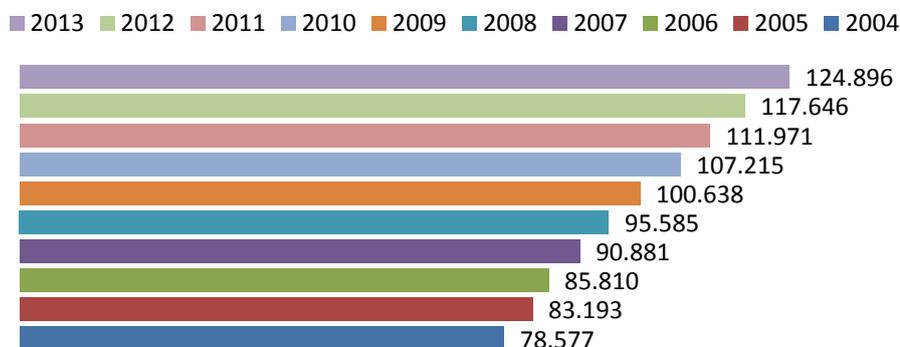
Gráfico 1: Demanda de energia atual e prevista para os setores residencial e comercial em quadrilhões de BTUs



Fonte: Exxonmobil. Acesso em: 30 jul. 2013.

No Brasil, os relatórios do Balanço Energético Nacional (BEN) de 2014, ano base 2013, (BALANÇO..., 2014), do Ministério de Minas e Energia (MME), registrou um aumento no consumo de energia no setor residencial de 58,94% (Gráfico 2), no período de 10 anos.

Gráfico 2: Histórico do consumo de energia (GWh) no Brasil para o setor residencial



Fonte: Balanço..., (2014). Acesso em: 10 out. 2014.

Este crescimento demonstrado está relacionado, entre outros fatores, ao crescimento da populacional, como identificado no Censo Demográfico de 2010 (INSTITUTO..., 2013), bem como, o crescimento das unidades habitacionais, constados pelos censos imobiliários efetuados pelo Sindicato das Indústrias da Construção Civil (SINDUSCON) de alguns estados do Brasil.

O crescimento do setor habitacional é decorrente dos programas brasileiro de incentivos a compra da casa própria, principalmente com o programa denominado Minha Casa Minha Vida, que alimentou o mercado imobiliário na oferta de edificações de custo médio e baixo, cujo processo legal de contratação de serviços ocasionou, muitas vezes, a produção de

edificações com baixa qualidade construtiva, refletindo, entre outros fatores, no inadequado desempenho térmico.

O impacto energético, principalmente nas edificações residenciais, é uma preocupação mundial, perceptível através das ações nos setores público e privado, normalmente resultantes de pesquisas específicas na tentativa de propor soluções relacionadas às diretrizes e tecnologias voltadas para os componentes da edificação.

A eficiência energética está relacionada à legislação urbana, considerando ser o vetor espacial/territorial de quem atua estimulando a preservação ambiental e o uso racional de energia através da identificação de estruturas urbanas adequadas à realidade local. Ressalta-se a importância da legislação técnica – como os planos diretores, os códigos de obras e as normas voltadas para os aspectos climáticos, topográficos, energéticos e ambientais de cada região –, como um instrumento direcionador.

O Conselho Mundial de Energia propõe como opção para o melhor desempenho das edificações, a utilização da rotulagem através do regulamento técnico da qualidade e dos critérios mínimos de eficiência energética. O Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO determina que a rotulagem com metas de desempenho, constitui um instrumento importante para redução do consumo de energia, através do incentivo tecnológico e no melhoramento da fabricação de produtos destinados ao mercado interno, elevando assim a qualidade dos produtos aos níveis internacionais (BATISTA; ROVERE; AGUIAR, 2011).

No Brasil, as normativas referentes às questões de melhoria da eficiência energética nas edificações iniciaram em 1985, com o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - PROCEL. Em 2001 foi aprovada a Lei nº 10.295 (BRASIL, 2001) relacionado à temática da Eficiência Energética, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Este ato reforça o Procel, que lançou a sua ação através do programa denominado Procel Edifica, em 2003.

Um dos resultados deste plano, em conformidade com a Lei nº 10.295 foi à publicação do relatório de Avaliação de Eficiência Energética através do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos - RTQ-C (BRASIL..., 2012a), e documentos complementares.

Em 2005, foi aprovada a norma NBR 15.220-3 (ASSOCIAÇÃO..., 2005), que determina o desempenho térmico de edificações. Outras normativas foram desenvolvidas objetivando

complementar e abranger distintos setores da construção civil. Em 2008 foi aprovada a norma NBR 15.575 (ASSOCIAÇÃO..., 2013), que em sua quarta edição – validada a partir de 19/07/2013 –, estabelece requisitos e critérios de desempenho aplicáveis às edificações habitacionais, definindo as condições de habitabilidade para o alcance do conforto ambiental.

O Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais Unifamiliares e Multifamiliares - RTQ-R - (BRASIL..., 2012) teve sua aprovação em 2010, sendo um regulamento que especifica requisitos técnicos e métodos para a classificação de edificações quanto à eficiência energética. A aprovação da norma RTQ-R pelo governo brasileiro demonstra uma preocupação, ainda que incipiente, em relação ao desempenho térmico das edificações e o consumo energético do país.

A norma NBR 15.575 de desempenho da edificação prescreve as diretrizes para o favorecimento do conforto térmico, tendo como parâmetros os conceitos, diretrizes e os limites de temperatura de conforto para ambientes ventilados naturalmente mencionados na norma *American Society of Heating Refrigerating and Air conditioning Engineers - ASHRAE 55* (AMERICAN..., 2004).

Estas atitudes normativas ratificam a necessidade de investimentos voltados para as inovações tecnológicas na indústria da construção civil, visto ser um dos setores econômicos que mais consomem energia no país (BATISTA; ROVERA; AGUIAR, 2011).

Para Nicol e Humphreys (2002) a qualidade do ambiente interior das edificações é fator importante no consumo de energia, na qualidade de vida do ocupante e na sustentabilidade, em termos de energia para a construção. Esta qualidade é determinada pelas características físicas da envolvente, bem como pelas propriedades de seus componentes que independem das condições transitórias exteriores (SADINENI; MADALA; BOEHM, 2011).

Entende-se que para a obtenção de edifícios energeticamente eficientes é importante que as janelas, entre outros componentes, possibilitem um desempenho térmico desejável, pois as mesmas são responsáveis por aproximadamente de 30 a 50% das perdas e ganhos de calor no ambiente (GUSTAVSEN et al., 2011).

Observa-se que os modelos de janelas usualmente utilizados nas edificações multifamiliares, especialmente para as classes sociais médias e baixas, possuem características que priorizam o custo e, assim, os conceitos primordiais para o alcance mínimo de desempenho térmico foram, na maioria das situações, prejudicados por alternativas inadequadas.

As pesquisas desenvolvidas por Albatici e Passerini (2011) demonstraram que o uso de modelos adequados de janelas de acordo com as características específicas de cada região, tem a forma, tipo de vidro e área envidraçada como fatores responsáveis pelo aumento do uso de energia na edificação. Carmody et al., (2004), também enfatiza que as perdas e ganhos de calor por meio da janela, pode representar uma parte significativa de carga para resfriamento e para aquecimento nas edificações.

Considerando os tipos de janelas das edificações residenciais multifamiliares, destaca-se a importância do elemento como condicionante para alcance de melhores condições térmicas, com características que possibilitem o controle da ventilação natural e, conseqüentemente, exercendo influência no desempenho do edifício (TIBIRIÇA, 1999, YIN et al., 2010, DILI; NASEERB; VARGHESEC, 2011, SADINENI; MADALA; BOEHM, 2011)

Os benefícios atribuídos ao uso dos condicionantes naturais são intensificados para reduzir o consumo de energia e melhorar as condições térmicas do ambiente (YIN et al., 2010). A ventilação natural, desde a antiguidade, é uma técnica conhecida para a definição do nível de conforto do usuário de espaços habitacionais (KIM; PARK, 2010) e seu uso pode substituir parte ou totalmente a adoção de sistemas mecânicos de resfriamento, resultando em algumas vantagens, como: atenuar o impacto ambiental, reduzir o consumo de energia e retardar ou diminuir o uso de equipamentos para resfriamento (STEPHAN; BASTIDE; WURTZ, 2011).

A ventilação natural como condicionante térmico passivo tem a possibilidade de proporcionar ambientes internos termicamente mais agradáveis em comparação com ambientes condicionados artificialmente, e como estratégia passiva é uma das soluções para a obtenção de edifícios mais sustentáveis (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2006, CUNHA et al., 2006, MERMET, 2005, ROAF; FUENTES; THOMAS, 2006, CÂNDIDO, 2011b, LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Para Stavrakakis et al., (2012) o custo energético de um edifício ventilados naturalmente é 40% menor do que um edifício com ar-condicionado e que as estratégias para ventilação natural são mais eficazes quando se tem um melhor aproveitamento das condições locais.

A definição de tipos de janelas adequadas às regiões são estratégias decorrentes da necessidade de proporcionar ambiente termicamente confortáveis, considerando como foco principal a habitabilidade e a conseqüente racionalização no consumo energético.

O aparecimento de componentes que permitiram a permeabilidade do ar através da janela ocorreu no momento histórico em que houve necessidade de domínio do espaço externo pelo usuário, sem perder a intimidade no ambiente interno. Nesse contexto, a janela cumpri a função de higienizar o ambiente por meio da ventilação constante, proporcionada por elementos como: balaústres, gelosias<sup>1</sup> com rótulas<sup>2</sup> e com muxarabis<sup>3</sup> e urupemas<sup>4</sup>, sendo posteriormente, simplificados e conhecidos como sistemas de venezianas e persianas.

Estes elementos oriundos da necessidade humana de socialização e da qualidade de vida foram desaparecendo e tornando a janela, um componente construtivo com funções limitadas a atender, especificamente, aos índices mínimos das normas municipais. A necessidade de entender a problemática das condições térmicas do ambiente interno pressupõe utilizar conceitos de uma arquitetura que atenda as necessidades do usuário e que seja pautado nas condições climáticas de cada região.

Nas últimas décadas, em decorrência da utilização de estratégias inadequadas de projeto, as janelas foram componentes que alteraram significativamente as características microclimáticas dos ambientes, sendo que tais alterações referem-se, em grande parte, às dimensões e aos sistemas de aberturas incoerentes com as condições climáticas do sítio. As mesmas são componentes que requerem estudos sistêmicos e, ambientalmente, exigem maior qualidade projetual para proporcionar o controle dos níveis de conforto desejados.

A evolução da humanidade, através do crescimento das cidades e industrialização dos processos construtivos demonstrou a necessidade de novos conceitos na concepção da arquitetura. Os componentes construtivos, por sua vez, também sofreram modificações ao longo do tempo, com alterações significativas, onde conceitos primordiais de desempenho térmico foram, na maioria das situações, prejudicados por alternativas relacionadas às novas concepções espaciais.

As mudanças ocorridas na construção e nos processos que envolvem o habitat humano são fatores que incidem na qualidade de vida do homem. A escolha por materiais e componentes que priorizem o menor consumo de energia e um melhor desempenho de suas funções são

---

<sup>1</sup> As gelosias são uma espécie de caixa externa que eram sobrepostas à janela (MIOTTO, 2002). Foram muito utilizadas nas edificações do Oriente Médio e Norte da África.

<sup>2</sup> As rótulas consistem em duas folhas de abrir, situadas externamente ao vão, compostas de treliçado de ripa de madeira, formando um desenho xadrez (MIOTTO, 2002).

<sup>3</sup> Os muxarabis ou muxarabiês são formados por um treliçado de madeira que tinham a função de proteção dos balcões e das janelas (MIOTTO, 2002). Têm sua origem na cultura mourisca.

<sup>4</sup> As urupemas são formadas por um treliçado de palha do tipo guilhotina e tinham o tamanho da metade do vão (MIOTTO, 2002).

atitudes responsáveis, que devem culminar em soluções projetuais que favoreçam a adoção de estratégias de acordo com as potencialidades de cada região.

## PROBLEMATIZAÇÃO

A partir do enfoque relacionado aos fatores inerentes à eficiência energética, à qualidade das técnicas construtivas, às normas brasileiras de desempenho para edificações, à qualidade ambiental e ao contexto atual do elemento janela nas edificações multifamiliares, algumas perguntas foram fundamentais para a definição do objeto de estudo:

- I. Os modelos de janelas comercializados no Brasil possuem características e propriedades técnicas voltadas para o adequado desempenho de suas funções em relação ao conforto térmico dos usuários?
- II. Os parâmetros, diretrizes e condições de contorno definidas nas normas brasileiras de desempenho, condizem com os modelos de janelas fabricadas e comercializadas no Brasil?
- III. As edificações multifamiliares, construídas nos grandes centros urbanos brasileiros, possuem componentes construtivos que satisfazem as diretrizes descritas nas normas de desempenho e de eficiência energética, visando à obtenção de conforto térmico para os usuários?
- IV. As janelas utilizadas nas edificações residenciais multifamiliares possuem sistemas de aberturas que proporcionam o controle da ventilação natural?
- V. Os modelos de janelas comercializados possibilitam alternativas de uso que favoreçam minimizar o consumo de energia com refrigeração?
- VI. Quais tipos de janelas oferecido pelo mercado brasileiro e utilizado nas edificações residenciais multifamiliares da cidade de Vitória possuem características que proporcionam o uso da ventilação natural como condicionante térmico passivo?
- VII. Qual o nível de conforto térmico passivo se obtém com o uso de janelas sem dispositivos de sombra e sem elementos permeáveis à ventilação, considerando os ambientes residenciais na cidade de Vitória?

A partir dos questionamentos a pergunta principal da tese é:

Em que medida uma janela adequada interfere na obtenção do conforto térmico em ambientes com ventilação natural, considerando os edifícios multifamiliares localizados na cidade de Vitória – ES?

## DELIMITAÇÃO

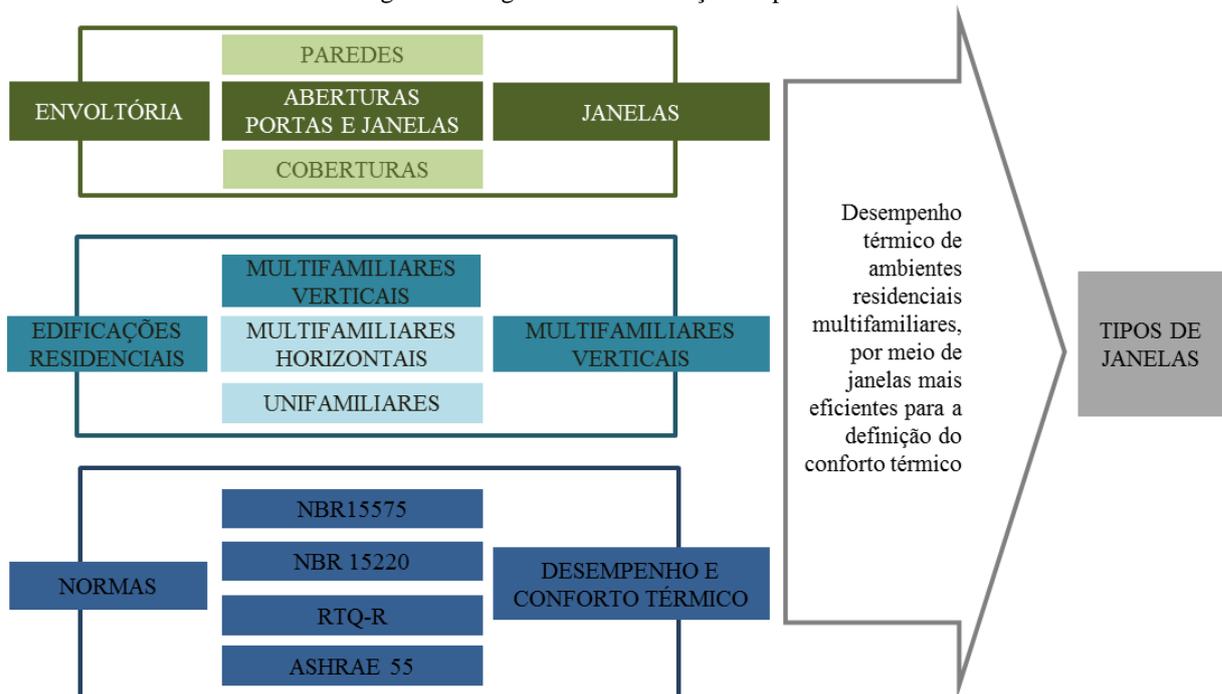
Hassouneh, Alshboul e Al-salaymeh (2010) salientam a importância de pensar em edificações eficientes, como por exemplo, através de ações que permeiem as novas tecnologias e a utilização de recursos com energia renovável. Algumas estratégias construtivas são importantes quando se pretende diminuir e tornar as edificações mais eficientes, como a escolha adequada dos materiais; coberturas e janelas adequadas ao clima local; dentre outros.

A determinação da sustentabilidade e do conforto ambiental nos edifícios depende, entre outros fatores, do desempenho da envoltória e de seus componentes construtivos, e em particular, de algumas funções da janela (CHOW et al., 2009). Considerando as regiões de clima tropical, as alternativas de condicionamento térmico passivo tornam-se essenciais para amenizar as diferenças térmicas entre o interior e o exterior, e conseqüentemente, o conforto térmico do usuário.

Esta pesquisa tem como tema central o conforto térmico proporcionado pelo adequado desempenho dos ambientes de edificações residenciais multifamiliares considerando a influência de tipos diferentes de janela. Parte-se do pressuposto que a definição de componentes construtivos adequados à realidade climática é fundamental para alcançar níveis desejáveis de desempenho nas edificações, relacionadas ao conforto ambiental.

A Figura 1 apresenta a decomposição do tema central em subtemas que caracterizaram o problema, cujo método de abordagem através de análises individuais contribuiu para o entendimento do resultado final da investigação.

Figura 1: Diagrama de delimitação do problema



Como resposta aos questionamentos e como resultado da pesquisa proposta objetivou-se analisar o modelo de janela usual em edificações multifamiliares, considerando-a como elemento padrão de comparação, identificando possíveis modificações que permitam melhorias nas condições térmicas internas, a partir de componentes da janela que são coerentes com as condições climáticas específicas da região selecionada.

A análise foi fundamentada nos aspectos relacionados aos componentes das janelas e nos resultados obtidos na avaliação do desempenho térmico de ambientes de edificações residenciais multifamiliares, investigando especialmente a interferência da ventilação natural no conforto dos usuários.

A pesquisa teve como **aspecto inovador** a indicação de modelos de janelas adequados às condições climáticas da zona bioclimática 08 (ASSOCIAÇÃO..., 2005) e com resultados mais positivos em relação ao desempenho térmico do ambiente, quando comparadas às janelas comumente utilizadas na cidade de Vitória, Espírito Santo, (Brasil). Outro **aspecto inovador** resultante da pesquisa foi o desenvolvimento de uma metodologia que avaliou as condições internas dos ambientes com ênfase no conforto adaptativo, utilizando índices de frequência e intensidade de desconforto térmico.

Considerando os modelos propostos de acordo com as condições climáticas da região, as janelas avaliadas **possibilitarão que fabricantes, engenheiros, arquitetos, construtores e usuários** adotem o modelo mais adequado ou definem outros modelos considerando os

componentes utilizados nos modelos analisados, tendo como resultado um melhor desempenho térmico para a edificação, associado à melhoria no conforto térmico.

No Brasil, a norma de Desempenho para Edificações e o RTQ-R são instrumentos oficiais para garantir avanço no desenvolvimento de **construções mais sustentáveis**, e os resultados desta pesquisa podem ter um significativo efeito no direcionamento das políticas públicas voltadas ao consumo energético e, também, na orientação aos projetistas, usuários e fabricantes de janelas para a definição, escolha e produção de produtos mais eficientes.

## JUSTIFICATIVA

A necessidade de redução do consumo de energia em decorrência, da crise do petróleo, do crescimento da população e do adensamento nos centros urbanos, determinou a adoção de atitudes diferenciadas visando garantir melhores condições ambientais e minimizar as interferências no meio ambiente.

A constatação do crescente consumo de energia no setor residencial (BALANÇO..., 2013), induziu entidades governamentais e pesquisadores a definirem normativas que balizassem a qualidade das edificações em relação ao desempenho, equacionando sistemas, materiais e técnicas construtivas para minimizar o impacto ambiental.

Dentre os componentes construtivos das edificações, as janelas definem o nível de habitabilidade, podendo contribuir para a diminuição do consumo de energia, visto interferirem na controlabilidade da luz e do vento. Para Sorman e Giampietro (2013) os benefícios atribuídos ao uso dos condicionantes naturais foram valorizados enquanto estratégias para reduzir o consumo de energia e melhorar as condições térmicas do ambiente, especialmente a partir da crise energética.

Observa-se que fatores relacionados ao desempenho do ambiente, também exercem papel importante na sustentabilidade (materiais, durabilidade, eficiência); na economia; na significância; no conforto térmico, tátil, antropodinâmico, visual e psicológico (TIBIRIÇA, 1999, NICO-RODRIGUES, 2008, 2011).

Considerando as premissas elencadas, como recorte do objeto de estudo foi delimitada a avaliação das condições de desempenho térmico dos ambientes com diferentes modelos de janelas, em edificações residenciais multifamiliares, visto ser o tipo de edificação habitacional mais utilizada, principalmente na região da cidade de Vitória.

A importância de definir modelos de janela para uma determinada região climática demonstra a preocupação e a importância do elemento para a qualidade do ambiente construído, quando é considerado o desempenho para proporcionar o conforto térmico do usuário, tendo como estratégia passiva à ventilação natural. Conforme Brown e Ruberg (1988), as janelas atuam como filtros entre o espaço interno e externo, influenciando decisivamente no conforto térmico.

Embasado nas questões mencionadas esta investigação se justifica nos seguintes fatores:

- Nas normativas de desempenho térmico que determinam diretrizes para as etapas de execução, especificações de materiais e técnicas construtivas objetivando garantir melhores condições de habitabilidade nas edificações;
- Na crescente oferta de edificações residenciais multifamiliares proporcionada, principalmente, pelo plano de incentivo da compra da casa própria, efetuada pelo governo brasileiro;
- Na qualidade das edificações residenciais multifamiliares resultante da contratação de serviços e materiais, em algumas situações, não condizentes com as determinações definidas nas normas de desempenho;
- Na constatação do aumento no consumo de energia no setor residencial; e
- Na utilização de tipos de janelas que priorizam o custo final e desconsideram elementos primordiais para a melhoria das condições térmicas internas com o favorecimento de condicionantes naturais;

Diante do exposto, ressalta-se a importância da janela para o desempenho térmico dos ambientes, que favorecem melhores condições de conforto em edificações residenciais multifamiliares na cidade de Vitória, com o uso da ventilação natural como estratégia de condicionamento térmico passivo, para o conforto térmico.

## HIPÓTESE

Considerando:

- A desejável redução no consumo de energia nas edificações residenciais multifamiliares;
- A necessidade de edificações com soluções e componentes construtivos eficientes que proporcionam níveis adequados de desempenho térmico;

- A fundamental importância na utilização de dispositivos de sombra e elementos permeáveis à ventilação para a situação climática em estudo e considerando a obtenção de conforto através de estratégias passivas; e
- A influência da localização e da orientação das janelas de acordo com as condições externas, objetivando o alcance de melhores condições de habitabilidade em ambientes internos ventilados naturalmente.

A pesquisa teve como suposição a seguinte hipótese:

A partir da constatação da ineficiência dos tipos de janelas, usualmente adotadas nas edificações residenciais multifamiliares na cidade de Vitória, é possível obter melhor desempenho térmico nos ambientes internos, a partir da escolha de tipos de janelas com dispositivos que permitem a ventilação natural e o controle solar.

## 1.1 OBJETIVO

A pesquisa tem como objetivo geral avaliar o comportamento da janela no desempenho térmico de ambientes ventilados naturalmente para o clima tropical litorâneo, por meio da definição de uma metodologia de avaliação que possibilite quantificar o nível de desconforto térmico. Os resultados determinaram a definição de parâmetros para identificar modelos de janelas eficientes, em edificações residenciais multifamiliares.

Objetivos específicos:

- Identificar e caracterizar os tipos de janelas utilizadas nas edificações residenciais multifamiliares da cidade de Vitória;
- Estabelecer uma metodologia de avaliação de desempenho com ênfase para o conforto térmico, a partir da análise conjunta de dois índices de conforto adaptativo prescritos nas normativas de desempenho brasileiras; e
- Avaliar o desempenho do ambiente com o tipo de janela mais usual e compará-lo aos tipos de janelas conceitualmente mais adequados às condições climáticas da cidade de Vitória.

## 1.2 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do método de estudo e de obtenção dos resultados de forma satisfatória foram propostas as seguintes etapas para a pesquisa, que implicou na sistematização dos conceitos abordados e determinação quantitativa e qualitativa dos dados

para a definição de tipos de janelas mais coerentes com a região climática da cidade de Vitória. As técnicas de pesquisas utilizadas consideraram as diretrizes definidas por, Alves-Mazzotti e Gewandsznajder (2001), Gil (2002), Gil (2008) e Eco (2009) e apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1: Resumo do método de pesquisa

<b>ETAPA I</b> Abordagem teórica	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Janelas</li> <li>- Conforto térmico e normativas</li> <li>- Ventilação Natural</li> <li>- Desempenho térmico em edificações ventiladas naturalmente e normas brasileiras</li> <li>- Ferramentas, indicadores e metodologia para avaliação de desempenho térmico em edificações residenciais multifamiliares</li> </ul>		
<b>ETAPA II</b> Caracterização das tipologias de janelas	- Área amostral	- Áreas com grande crescimento imobiliário – Censo Imobiliário	
	- Levantamento de campo	- Levantamento dos modelos de janelas das edificações residenciais multifamiliares	- Fichamento descritivo e fotográfico
<b>ETAPA III</b> Definição da metodologia de avaliação de desempenho térmico	- Determinação das condicionantes climáticas	- Tipos de janelas utilizadas	
		- Temperatura externa	
	- Indicadores de avaliação	- Temperatura operativa	- Temperatura de conforto
<b>ETAPA IV</b> Avaliação de desempenho térmico de janelas	- Representação dos resultados	- Frequência de desconforto térmico	
	- Determinação das características da edificação	- Graus horas de desconforto térmico	
	- Definição do <i>software</i> considerando a ventilação natural	- Diagrama de fluutuabilidade	
<b>ETAPA V</b> Soluções de janelas	- Análises	- Formais	- Construtivas
	- Propostas de modelos de janelas	- De ocupação	- Simulação para desempenho térmico
<b>ETAPA V</b> Resultados	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Metodologia de avaliação de desempenho com ênfase na definição de condições térmicas para o conforto</li> <li>- Determinação do desempenho térmico do modelo de janela usual nas edificações residenciais multifamiliares e dos modelos propostos</li> </ul>	- Tipo de janela usual e tipo de janela teoricamente mais adequada	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Componentes variáveis: elementos permeáveis à ventilação e dispositivos de sombra</li> <li>- Componentes fixos: elementos translúcidos/transparentes, localização e tamanho</li> </ul>	

Os métodos utilizados para a obtenção do resultado proposto na pesquisa para cada objetivo específico foram:

**OBJETIVO ESPECÍFICO 1:**

Para identificação e caracterização dos tipos de janelas utilizadas nas edificações residenciais multifamiliares da cidade de Vitória foram definidos os seguintes procedimentos: definição da área amostral, levantamento de campo, análise dos dados e caracterização das janelas usuais nas edificações residenciais multifamiliares.

A definição da área amostral foi por meio do Censo Imobiliário, publicado pelo Sindicato das Indústrias da Construção Civil do Espírito Santo (SINDUSCON-ES), determinando as 06 regiões de maior crescimento imobiliário, totalizando 09 bairros. Para o levantamento de campo definiu-se a coleta de dados, que inicialmente, utilizou-se de um quadro com dados pré-estabelecidos referentes aos modelos de janelas mais comercializados e atualizados no decorrer do levantamento.

Para a coleta de dados adotou-se a pesquisa de observação, com anotações descritiva e fotográfica dos tipos de janelas observados no ambiente dormitório 1 das edificações em uso, resultando no registro de 1.999 unidades. O levantamento permitiu a caracterização de 23 tipos diferentes de janelas utilizadas no ambiente dormitório 1 e demonstrou que a mais utilizada nas edificações multifamiliares foi o modelo sem componentes de dispositivos de sombra e elementos permeáveis à ventilação. Os resultados demonstraram também os materiais, a cor do vidro, os sistemas de abertura mais usual.

A metodologia detalhada foi descrita no capítulo 3 e os resultados da caracterização das janelas, mencionados no capítulo 4.

**OBJETIVO ESPECÍFICO 2:**

A definição da metodologia de avaliação de desempenho com ênfase para o conforto térmico, considerando a ventilação natural como principal condicionante térmico passivo, foi desenvolvida por meio do conceito inicial proposto por Sicurella, Evola e Wurtz, (2012), em que a condição para a habitabilidade no ambiente é determinada pela análise da Frequência de Desconforto Térmico (FDT) e da Intensidade de Desconforto Térmico (IDT).

O método adotado na pesquisa considerou o indicador FDT que equivale ao percentual de tempo, hora inteira, em que a temperatura operativa está acima do valor máximo de temperatura de conforto. E para adequação ao quantitativo de análise pretendido, foi definido o uso dos Graus-horas de Desconforto térmico (GhDT), em substituição ao IDT, tendo como definição a diferença entre a temperatura operativa horária e a temperatura de conforto,

quando a temperatura operativa ultrapassa o valor definido da temperatura de conforto, estabelecida para o mês em estudo.

Os resultados dos dois indicadores foram avaliados separadamente e conjugados no diagrama de fluabilidade, que avalia os resultados sob a intensidade dos graus-horas, para os níveis leve e intenso e a quantidade de frequência de desconforto para os níveis temporário e frequente.

A determinação do FDT e GhDT foram horários e o fator de análise considerou a temperatura operativa e a temperatura de conforto da ASHRAE 55 (AMERICAN..., 2004) como condição para determinar a efetiva influência da janela para o conforto térmico. A metodologia proposta foi detalhada no capítulo 3.

#### OBJETIVO ESPECÍFICO 3:

Objetivando avaliar o desempenho do ambiente com o tipo de janela usual e compará-lo aos tipos de janelas conceitualmente adequados as condições climáticas da cidade de Vitória, dentro dos modelos observados no levantamento, foram utilizados procedimentos com simuladores e tratamento estatísticos dos resultados, como proposto pela metodologia de avaliação.

Para a análise do tipo de janela usual e propostas adotou-se o *software DesignBuilder* como ferramenta para a obtenção das variações horárias de temperatura operativa e tendo como modelo, um edifício de 05 pavimentos, com distribuição espacial interna de 02 quartos.

As simulações foram para o período de um ano, considerando as condições para o ambiente quarto, localizado no primeiro pavimento, no pavimento intermediário e no último pavimento. Objetivando determinar quais tipos de janelas que priorizam o conforto térmico por meio do uso da ventilação natural, foram estabelecidas as simulações para as orientações principais, Norte, Sul, Leste e Oeste e analisadas por estação do ano.

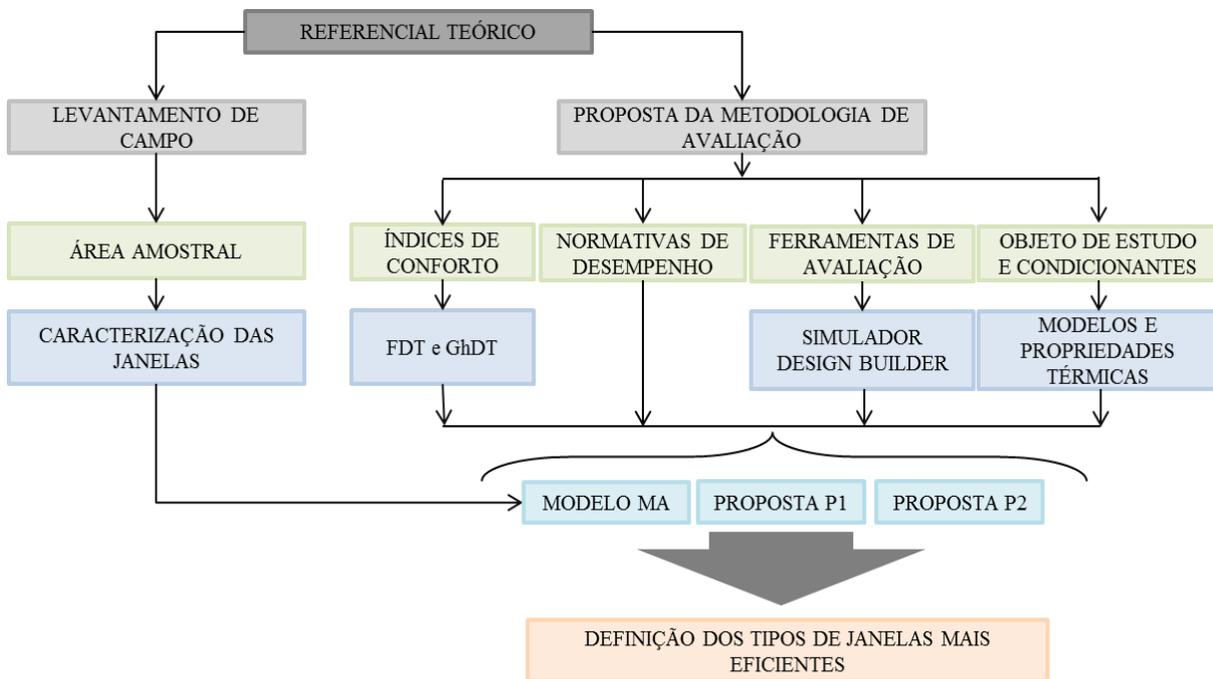
As simulações foram primeiramente, para o modelo usual e posteriormente analisado por meio de método comparativo com o outro modelo, também observado no levantamento de campo descrito no capítulo 4, e com características adequadas às condições climáticas da região. Os resultados e suas análises definiram diretrizes para a proposição de um terceiro tipo de janela também adequado às condições climáticas da cidade de Vitória.

A proposição de modelos mais adequados teve como embasamento as diretrizes definidas pelas normativas brasileiras NBR 15.220-3, NBR 15.575, RTQ-R, a abordagem teórica descrita no capítulo 2, e a análise dos resultados das simulações dos dois modelos propostos.

As principais variáveis consideradas para a proposição foram às dimensões, os elementos translúcidos/transparentes (vidros), os dispositivos de sombra, os elementos permeáveis à ventilação, o material, os sistemas de abertura e a orientação. O terceiro modelo proposto teve como objetivo obter ambientes com resultados similares ou melhores aos alcançados pelo segundo modelo analisado.

Os procedimentos elencados do referencial teórico, do levantamento e da caracterização das janelas e da análise das simulações, resultaram na determinação de componentes que influenciam no desempenho do ambiente, priorizando a ventilação natural como único meio de condicionamento térmico. Os resultados validaram a hipótese e responderam aos objetivos da pesquisa. A Figura 2 sintetiza os procedimentos metodológicos que culminaram na obtenção dos resultados para a validação das propostas.

Figura 2: Metodologia utilizada para atendimento aos objetivos



# 2 ABORDAGEM TEÓRICA

*“Toda a história da arquitetura gira exclusivamente em torno das aberturas nas paredes”*

(LE CORBUSIER, 1927).



## 2 ABORDAGEM TEÓRICA

Este capítulo apresenta o alicerce conceitual da tese dividida em quatro focos de abordagem. O primeiro ressalta as modificações ocorridas na janela no decorrer das inovações tecnológicas e das necessidades humanas de controlar seu ambiente interno e externo. No segundo, seguem descritas as condições térmicas humanas em relação aos aspectos da habitabilidade, considerando as aberturas como elemento integrador e interferente no conforto térmico e suas adaptações para melhoria das sensações térmicas, bem como os índices e normativas que determinam as diretrizes para análise das condições internas de um ambiente.

O ambiente ventilado naturalmente é o objeto de análise no terceiro foco de abordagem e seu conteúdo intensifica a importância do uso de condicionantes naturais e tipos de janelas para a obtenção de condições adequadas de habitabilidade, assim como demonstra ser um fator decisivo para minimizar o consumo de energia pelo uso de equipamentos para resfriamento. No último assunto de abordagem foi destacada a importância do desempenho térmico da edificação para o conforto e a necessidade de normativas que regularizem as edificações para o alcance do mesmo. Também foram descritas as ferramentas e métodos utilizados para a avaliação do desempenho térmico, com destaque para os índices adotados nesta pesquisa.

### 2.1 EVOLUÇÃO DAS JANELAS

O termo “janela”, conforme Jorge (1995) é o diminutivo de *janua* ou *ianua* com designação de porta, passagem, um acesso principal. Tem sua origem vinculada a três fatores principais: como variação da porta; a necessidade social; e a construção espacial. Sua eficácia funcional teve seu apogeu na necessidade do ser humano em exteriorizar seu ambiente, assim como permitir que a iluminação e ventilação natural alterassem suas condições internas de conforto, de salubridade e de visualidade da paisagem.

As alterações ocorridas na janela referentes ao tamanho, ao material e aos elementos são consequência das tecnologias construtivas utilizadas em cada momento histórico e fatores naturais importantes na definição do nível de habitabilidade nas edificações. O aparecimento de elementos como o vidro, a veneziana e a persiana ocorreu da necessidade de manter as condições térmicas internas em níveis favoráveis, permitindo a privacidade.

As primeiras modificações importantes observadas nas janelas datam do período da Grécia antiga, onde priorizavam a ventilação e a iluminação dos ambientes, por meio do pátio central – peristilo (Figura 3) – negando assim, o espaço público (IVANÓSKI, 2005). Na Roma

antiga, em decorrência do sistema construtivo utilizado foram observadas alterações nas janelas principalmente nas edificações religiosas e salas termas, tendo suas dimensões aumentadas permitindo a iluminação natural nos ambientes internos (BECKETT; GODFREY, 1978).

Entretanto no período da Idade média as edificações residenciais tinham suas janelas voltadas para o espaço público, e para manter a privacidade dos ambientes, incorporaram peitoris mais altos, mantendo o acesso da luz natural no interior do ambiente. No início da Renascença (Figura 4) as teorias de reorganização dos espaços internos determinavam diretrizes para as edificações com o propósito de contemplar o espaço externo. As janelas tinham neste momento histórico, também a função de agregar valor estético à edificação, visto pela variedade de modelos propostos (JORGE, 1995).

Figura 3: Peristilo nas casas gregas



Fonte: Domus pompeiana Peristylum.  
Acesso: 10 set. 2014.

Figura 4: Janelas na Renascença



Fonte: Arqitetando, 2009.  
Acesso em: 10 set. 2014.

No movimento Barroco a percepção e domínio do espaço foram aspectos importantes e as janelas tornaram-se elementos fundamentais na linguagem do projeto, sendo exemplo de inclusão na dinâmica da arquitetura (Figura 5). O período da Revolução Industrial trouxe inovações tecnológicas resultando em estruturas que favoreciam o uso de aberturas maiores (Figura 6), como por exemplo, o uso do ferro na construção civil (BECKETT; GODFREY, 1978).

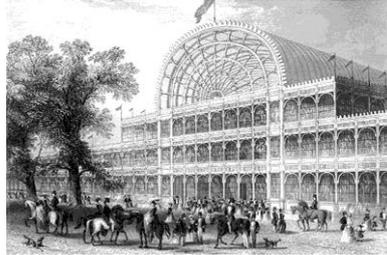
O século XX, com o advento do uso do concreto armado possibilitou aberturas mais expressivas juntamente com o conceito modernista que questionava sobre a inércia dos sistemas construtivos existentes, propondo princípios para a concepção do espaço por meio de tecnologias novas para os materiais. Dentre esses princípios, destaca-se a utilização de janelas em toda a largura da fachada (Figura 7).

Figura 5: Janela Barroca



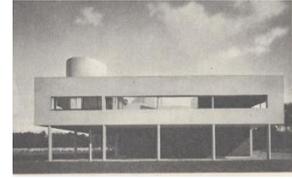
Fonte: História da Arte.  
Acesso em: 14 set. 2014.

Figura 6: Palácio de Cristal



Fonte: Engines of Our Ingenuity.  
2004. Acesso em: 15 set. 2014.

Figura 7: Ville Savoye



Fonte: Le Corbusier (1947).

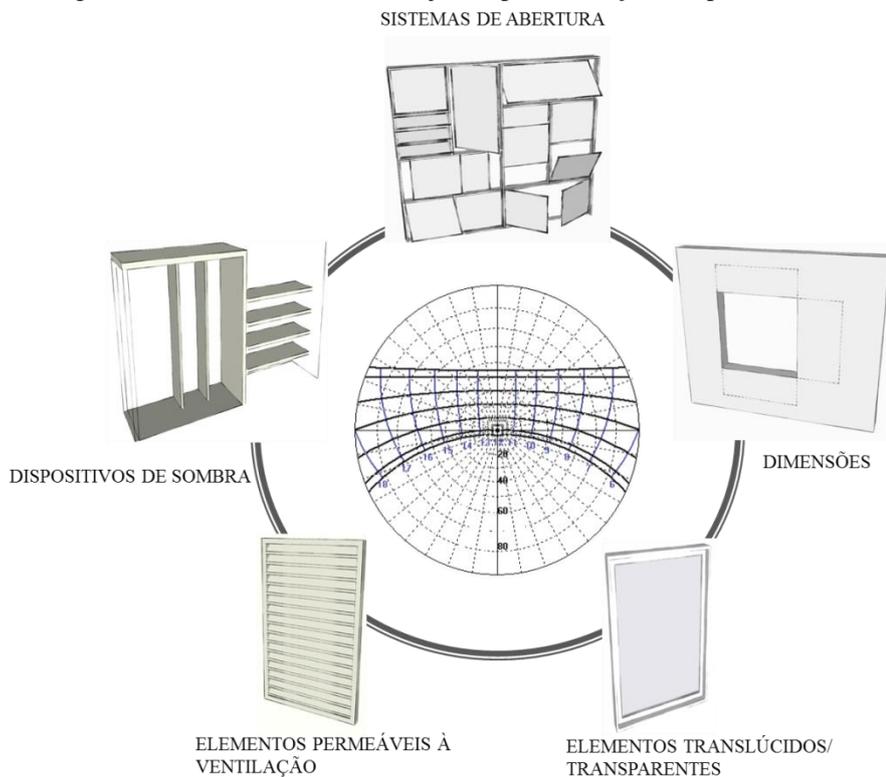
O elemento janela na arquitetura pós-moderna é intensificado, por meio de conceitos minimalistas das aberturas, que caracterizam uma determinada intenção arquitetônica tornando-se, muitas vezes, mais plástica do que funcional na definição do espaço tridimensional. O final do século XX é caracterizado como uma época marcada pela diversidade na produção arquitetônica, sendo que a janela torna-se elemento de uma arquitetura de significado e o edifício é tratado como obra de arte ou como de alta tecnologia (*high-tech*) em sua concepção, independente da adoção da eficiência energética como condicionante (NICO-RODRIGUES, 2008, 2011).

As aberturas evoluíram de acordo com a necessidade humana de relacionamento com o mundo externo e com as novas concepções de espaço. Como elemento do invólucro da edificação, as janelas tiveram os modelos modificados e transformados na medida em que houve necessidade da utilização dos condicionantes climáticos (luz e ar). Através da iluminação, descobriram-se os espaços internos; através do convívio social, exteriorizou-se o interior; e através da ventilação e da iluminação, promoveu-se a higienização dos ambientes. As diferenças culturais determinaram maneiras diversas de tratar a iluminação e a ventilação no interior dos ambientes, bem como as diversas mudanças nas técnicas construtivas.

### 2.1.1 Elementos e variáveis

Para entender a janela como importante componente da edificação e dispositivo sistêmico formado por elementos que se inter-relacionam para proporcionar condições térmicas mais favoráveis à habitabilidade é necessário entender as funções e características de seus elementos primordiais: elementos translúcidos/transparentes; elementos permeáveis à ventilação; dispositivos de sombra; sistemas de abertura; dimensões e localização (Figura 8).

Figura 8: Elementos e variáveis da janela para definição de tipos diferentes



#### A - ELEMENTOS TRANSLÚCIDOS/TRANSPARENTES - VIDROS

No período do Renascimento os romanos conheciam a aplicação do vidro para janelas, porém a qualidade do material o tornava frágil, dificultando seu uso. Entretanto, no período Gótico, o uso do vidro foi intensificado principalmente nas igrejas, sendo classificado como material de construção. Os vidros em painéis maiores e com qualidade aparecem na Inglaterra no século XVII, juntamente com as janelas no sistema de abertura do tipo guilhotina. A partir do século XIX com o aperfeiçoamento das técnicas de produção, o vidro passou a ser utilizado em grandes painéis na arquitetura (BECKETT; GODFREY, 1978, CARMODY; SELKOWITZ; HESCHONG, 1996).

No Brasil a utilização do vidro na arquitetura é recente. As janelas com vidraças aparecem nos séculos XVII e XVIII, em sua maioria em construções nobres, igrejas e palácios de cidades com maior desenvolvimento urbano (LEMOS, 2012). Em 1810 foi instalada, em Salvador, a primeira fábrica de vidros que devido ao custo operacional e conflitos oriundos do processo de Independência do Brasil, foi fechada (PILKINGTON, 2014).

Na década de 1880 foram implementadas fábricas no Rio de Janeiro e em São Paulo objetivando produzir vidros para utensílios domésticos e vidros planos para a construção civil,

principalmente para janelas do tipo guilhotina, difundida pelos portugueses com influência da Inglaterra e da Holanda, e para as janelas francesas de batente (PILKINGTON, 2014).

Nas últimas décadas, a importância do vidro para a habitabilidade do espaço interno suscitou preocupações por parte dos profissionais e fabricantes em determinar requisitos para a utilização de maneira eficaz desse material objetivando atingir adequadamente suas funções primordiais. Os requisitos exigidos foram descritos nas principais normas, segundo a Associação Brasileira de Distribuidores e Processadores de Vidros Planos – ABRAVIDRO (ABRAVIDRO, 2014), conforme a seguir listadas:

- Normas Brasileiras - NBR:
  - ABNT NBR 7199:1989 - Projeto, execução e aplicações de vidros na construção civil;
  - ABNT NBR 11706 EB92:1992 - Vidros na construção civil;
  - ABNT NBR 14697:2001 - Vidro laminado;
  - ABNT NBR 14698:2001 - Vidro temperado;
  - ABNT NBR 12067:2001 - Vidro plano - Determinação da resistência à tração na flexão;
  - ABNT NBR 16023:2011 - Vidros revestidos para controle solar - Requisitos, classificação e métodos de ensaio;
  - ABNT NBR 16015:2012 - Vidro insulado - Características, requisitos e métodos de ensaio;
- Normas do Mercosul:
  - ABNT NBR NM 293:2004 - Terminologia de vidros planos e dos componentes acessórios a sua aplicação;
  - ABNT NBR NM 294:2004 - Vidro float; e
  - ABNT NBR NM 295:2004 - Vidro aramado.

Santos e Roriz (2012) destacam a necessidade de vidros com boa aparência, controle solar e economia de energia e ressalta que para determinar o cálculo de ganho de calor é importante envolver três variáveis: a intensidade da radiação incidente; o ângulo de incidência da radiação; e o fator solar (FS).

Como elemento interferente nas condições térmicas do ambiente, o vidro está relacionado ao ganho térmico nas edificações em relação aos elementos opacos, pois são classificados como agente causador de desconforto térmico (TSIKALOUDAKI et al., 2012). Ressalta-se que

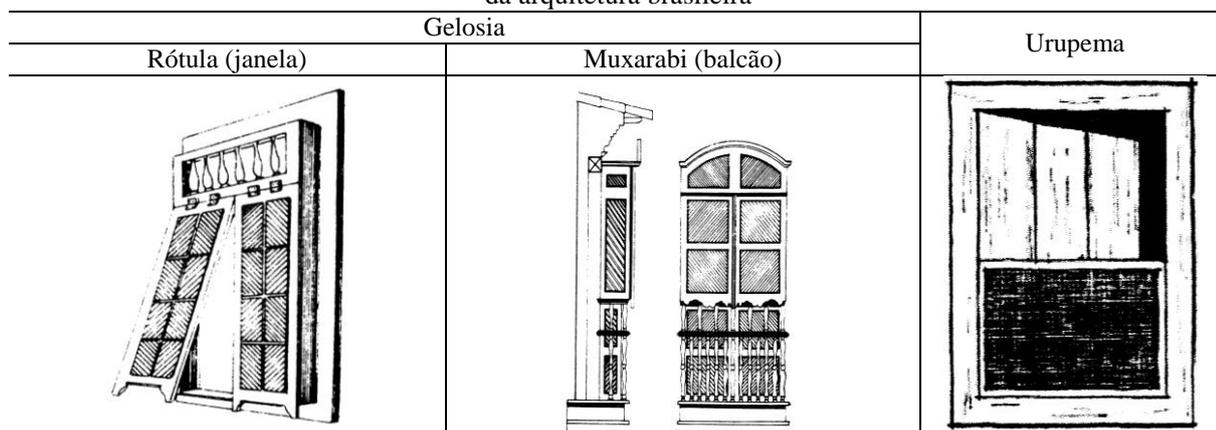
somente o tipo de vidro não possibilita menor consumo de energia, sendo que outros elementos da envoltória também são importantes para permitir melhores condições internas, principalmente quando o ambiente possui uma fonte de calor interna (LAMBERTS; MARINOSKI; MILBRATZ, 2007, IHM et al., 2012).

Ihm et al., (2012) concluíram que a utilização de vidros com um fator-U menor e coeficiente de ganho de calor maior para janelas menores, resultaram em melhor desempenho em relação ao consumo de energia, considerando climas frios e para climas quentes, os pesquisadores concluíram que as aberturas maiores com o mesmo fator-U e o coeficiente de ganho de calor solar maior, resultaram em um consumo maior de energia.

#### B - ELEMENTOS PERMEÁVEIS À VENTILAÇÃO – VENEZIANA E PERSIANA

O ambiente ventilado naturalmente depende, entre outros fatores, da gravidade dos efeitos do clima no interior dos ambientes, que pode ser modificada pelo uso de controles para os elementos permeáveis à ventilação. Controles comuns, como abrir janelas, persianas e portas proporcionam aos ocupantes oportunidades de modificar o ambiente térmico em busca de melhores condições de conforto. Destaca-se que outros elementos foram utilizados no processo de evolução da janela e tiveram influência nas características regionais e culturais, tais como a gelosia com rótula, com muxarabi e a urupema (Figura 9).

Figura 9: Tipos de composição com os elementos permeáveis à ventilação utilizados ao longo da história da arquitetura brasileira



Fonte: Mascarello (1982).

Os principais elementos permeáveis à ventilação utilizados nas janelas atuais são a veneziana e a persiana. O termo persiana tem origem no século XVIII e refere-se ao modelo muito difundido na antiga Pérsia<sup>5</sup>, composto de lâminas de madeira estreitas e paralelas, fixadas horizontalmente e de forma inclinada. Foram muito difundidas no ocidente, no período da

<sup>5</sup> A Pérsia nos tempos atuais refere-se ao Irã.

arquitetura moderna mais remota, como elemento de proteção externa da janela que permitia a ventilação, protegendo o ambiente da chuva e da radiação solar (BECKETT; GODFREY, 1978).

Posteriormente no Brasil às venezianas e persianas foram inseridos nas janelas, ficando conhecidas como venezianas, sendo constituídas de pequenas lâminas – móveis ou fixas –, produzidas em alumínio, madeira, ferro ou Policloreto de Polivinila – (PVC).

As venezianas e persianas utilizadas como elementos nas janelas se caracterizam como componentes importantes na controlabilidade da ventilação e da radiação solar. A Figura 10 apresenta alguns exemplos da aplicação desses elementos nas janelas atuais.

Figura 10: Alguns exemplos de janelas com o uso de veneziana e persiana



Janela com vidro no sistema de correr e venezianas fixas no sistema sanfonado  
Material: alumínio

Fonte: Alsul. Acesso em 10 set. 2014.



Janela com vidro no sistema de correr e venezianas móveis no sistema de correr  
Material: alumínio

Fonte: EB. Acesso em 10 set. 2014.



Janela com vidro no sistema de correr e venezianas móveis no sistema sanfonado  
Material: madeira

Fonte: M3madeiras. Acesso em 10 set. 2014.



Detalhe das venezianas móveis  
Material: madeira



Janela com vidro no sistema de correr e persianas móveis no sistema projetante  
Material: alumínio

Fonte: Sasazaki. Acesso em: 10 set. 014.

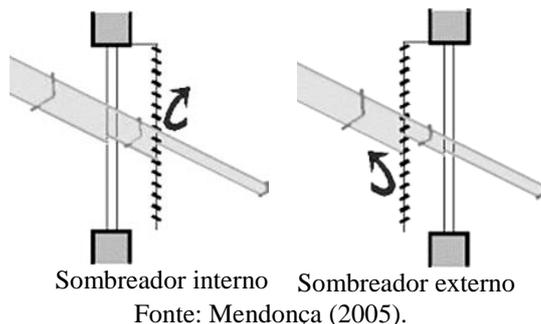


Janela com vidro no sistema de abrir e venezianas fixas no sistema de abrir  
Material: madeira

## C - DISPOSITIVOS DE SOMBRA

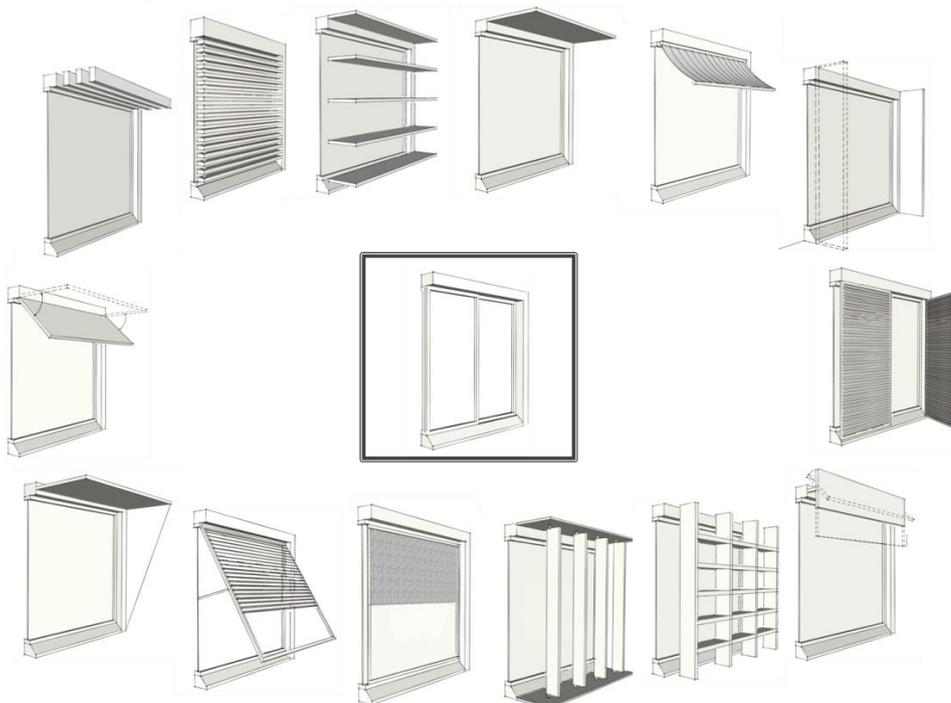
Sombrear é um dos métodos eficazes para a redução no consumo de energia nas edificações de clima tropical. Os dispositivos de sombra podem ser utilizados interna e externamente às janelas (Figura 11) e tem como função primordial bloquear a radiação solar, permitindo a ventilação natural e a visualização do espaço externo.

Figura 11: Posicionamento dos dispositivos de sombra



Os dispositivos podem ser móveis ou fixos, verticais e/ou horizontais e seu dimensionamento considera o fator de ganho solar ou coeficiente de sombreamento, sendo também importante considerar as visuais, a ventilação e a manutenção na escolha do tipo mais adequado à função e ao lugar (Figura 12).

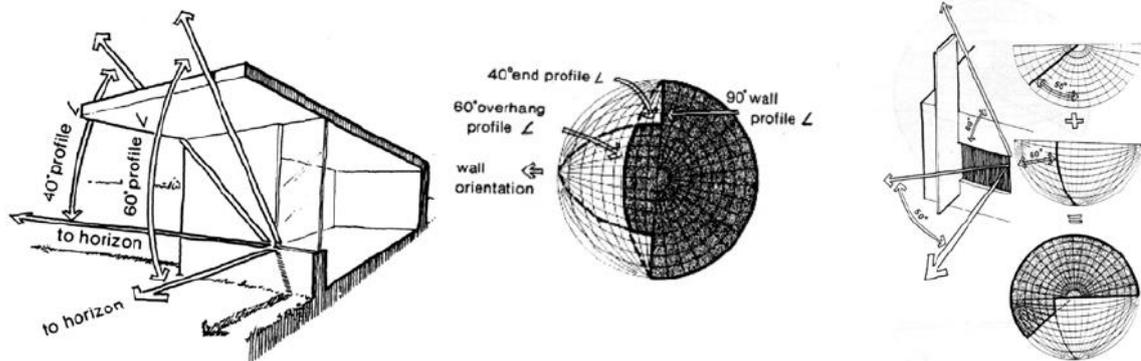
Figura 12: Tipos de dispositivos de sombra horizontais e verticais



Fonte: Adaptado de Mendonça (2005).

A escolha de certos tipos de dispositivos de sombra deve considerar alguns aspectos importantes, como: eficiência, plasticidade, privacidade, durabilidade, custos, entre outros. Destaca-se que para a sua definição é necessário que os horários e o período de maior incidência solar sejam definidos como fator determinante para a proteção solar, estando relacionado às perdas de calor por transmissão e ao controle da radiação solar. (Figura 13).

Figura 13: Fatores interferentes na definição dos dispositivos de sombra



Fonte: Barroso-Krause, (2011).

Sorgato, Versage e Lamberts (2011) registraram que o uso de aberturas com dispositivo de sombra horizontal em dormitórios de edifícios residenciais multifamiliares, localizados no Brasil, contribuiu para a diminuição dos graus-horas de resfriamento e da temperatura operativa em todas as orientações. Salientando a importância do recurso do dispositivo externo para reduzir os ganhos solares, evitando o efeito estufa. Podendo também minimizar o efeito da transmitância térmica da abertura, principalmente para regiões mais frias.

A importância do uso de dispositivos de sombra está na definição das condições térmicas dos ambientes que possibilitam visibilidade e melhor desempenho térmico do ambiente (FONTENELLE; BASTOS, 2014); menor consumo de energia (PEREIRA; ASSIS, 2010, JINKYUN; YOO; KIM, 2014); e diminuição dos ganhos solares diretos pelas áreas envidraçadas (NIU, 2004).

Gratia e Herde (2007) concluíram que a economia de 14% no consumo de energia para resfriamento em um edifício na Bélgica, nos períodos mais quentes do verão foi vinculada ao uso de dispositivos de sombra considerando o tamanho, a cor e a localização dos mesmos. Nos estudos realizados por Jinkyun, Yoo e Kim (2014) em edifícios residenciais na Coreia, constataram que o dispositivo horizontal teve melhor desempenho para as orientações Leste, Oeste e Sul, reduzindo a carga anual para refrigeração em 19,7% comparando com o dispositivo vertical, onde teve uma redução de 17,3%, considerando as mesmas orientações.

A definição de tipos de elemento translúcido/transparente, suas propriedades térmicas e físicas, dos diferentes elementos vazantes, considerando sua operabilidade e localização, assim como os diversos dispositivos de sombra são importantes variáveis, quando existe a preocupação com as condições térmicas internas, ressaltando as alterações no elemento janela.

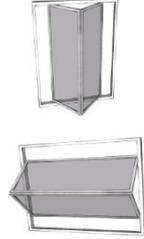
#### D - SISTEMA DE ABERTURA

Dentre os diferentes tipos de aberturas para as janelas, destacam-se as particularidades em relação à proteção as intempéries, segurança, percentuais de aberturas, permeabilidade à ventilação e operacionalização e interferências do mecanismo de aberturas com o espaço interno e externo.

O Quadro 2 apresenta a síntese dos sistemas de aberturas mencionados na norma brasileira para esquadrias NBR 10.820 – Caixilho para edificação – Janela.

Quadro 2: Sistemas de aberturas para janelas

(continua)			
SISTEMA DE ABERTURA	CARACTERÍSTICAS	% DE ABERTURA	IMAGEM
Janelas de folhas fixas	Não possui movimento	0 % de área útil de ventilação	
Janelas de abrir, de eixo vertical.	Formada por uma ou mais folhas que podem ser movimentadas mediante rotação em torno de eixos verticais fixos, coincidentes com as laterais da folha	100% de área útil de ventilação	
Janela projetante	Quando o eixo fixo de rotação se localiza na extremidade superior	Dependendo do ângulo de abertura pode-se ter 100% área útil de ventilação	
Janela de tombar	Quando o eixo fixo de rotação se localiza na extremidade inferior ou superior	30% área útil de ventilação	
Janela pivotante horizontal e vertical	Formada por uma ou várias folhas que podem ser movimentadas mediante rotação em torno de um eixo vertical e não coincidente com as laterais das folhas	100% de área útil de ventilação	
Janela Basculante	Possui eixo de rotação horizontal, centrado ou excêntrico e não coincidente com as extremidades superior ou inferior da janela	Dependendo do ângulo de abertura pode-se ter 100% área útil de ventilação	

(conclusão)			
Janela de correr	Formada por uma ou várias folhas que podem ser movimentadas por deslizamento horizontal, no plano da janela	50% de área útil de ventilação	
Janela de guilhotina	Formada por uma ou mais folhas que podem ser movimentadas por deslizamento vertical, no plano da janela	50% de área útil de ventilação	
Janela projetante deslizante – (Maxim-ar)	Formada por uma ou mais folhas que podem ser movimentadas em torno de um eixo horizontal, com translação simultânea deste eixo	Dependendo do ângulo de abertura pode-se ter 100% área útil de ventilação	
Janela sanfonada – (Camarão) vertical e horizontal	Formada por duas ou mais folhas articuladas entre si que, ao se abrirem, dobram-se uma sobre as outras, por deslizamento horizontal ou vertical de seus eixos de rotação	Dependendo do ângulo de abertura pode-se ter 100% área útil de ventilação	
Janela reversível	Janela do tipo basculante ou pivotante, onde a rotação das folhas em torno de seus eixos situa-se no intervalo entre 160° e 180°	Variável	
Janelas especiais	Janelas formadas pela combinação de dois ou vários tipos de janelas citados anteriormente	Variável	_____

Fonte: Adaptado da Associação..., (1989) e Lamberts, Dutra e Pereira (2014).

De acordo com as pesquisas desenvolvidas por Grabe (2013), para condições climáticas referentes aos países localizados na parte central da Europa, as avaliações de vários sistemas de aberturas com relação à flutuabilidade da ventilação, indicaram a janela pivotante horizontal como o modelo que obteve o melhor desempenho quando comparadas a modelos como janela de guilhotina, de abrir, de tombar e pivotante vertical, pois a mesma permitiu que as trocas de ar fossem feitas separadamente, proporcionando condições térmicas favoráveis.

A escolha do sistema de abertura está diretamente relacionada ao fluxo e a troca de ar no interior do ambiente. É importante destacar que a adoção de sistemas de aberturas que

permitem separar a ventilação de conforto, da higiênica e da noturna é um dos fatores que incidem sobre o comportamento do usuário na definição de ambientes mais confortáveis.

#### E – DIMENSÕES/FORMATOS

A definição das dimensões da janela é uma ação determinada na etapa que fundamenta as decisões de projeto, devendo ser parte de um processo de concepção integral considerando vários aspectos. Sendo assim, as normativas incentivam a definição de aberturas para maximizar o desempenho do edifício.

No entanto, algumas contradições são observadas nessas normas quando existe uma recomendação para redução nas dimensões das aberturas visando à minimização do consumo de energia, e recomendações para a adoção de dimensões maiores das aberturas visando à ampliação do conforto térmico e visual (OCHOA et al., 2012). Salientando que o tamanho e a orientação da janela tem grande influência sobre o consumo de energia dos edifícios (GASPARELLA et al., 2011).

Ghisi, Tinker e Ibrahim (2005) mencionam que a *Chartered Institution of Building Services Engineers*, (1999) - CIBSE - determinou de forma bastante simplificada, que o percentual ideal de áreas de janelas para minimizar o consumo de energia seria de 30% da área de fachada, considerando uma média para todos os climas. Os pesquisadores concluíram, após análises em sete regiões do Brasil e uma no Reino Unido, que a área recomendada para garantir visibilidade externa é incoerente com a dimensão para garantir menor consumo de energia, quando se considera também à iluminação natural.

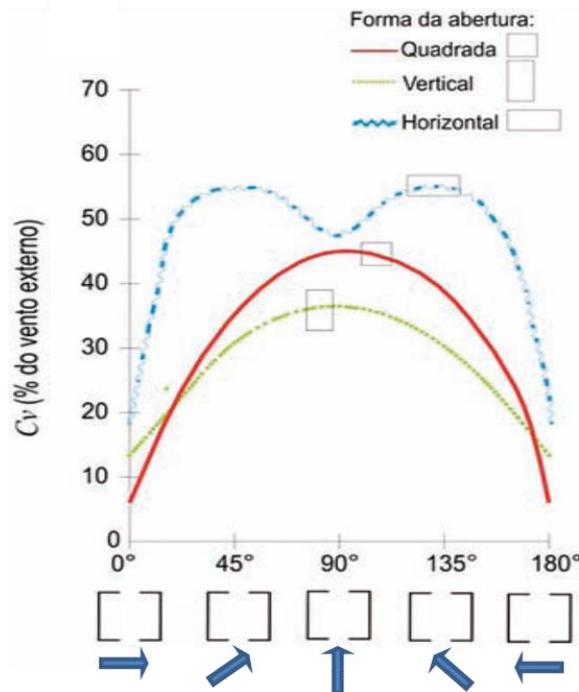
Os estudos desenvolvidos em túneis de vento por Baruch Givoni em 1976 e Harris J. Bowen em 1981 descritos por Bittencourt e Cândido (2006) e salientado por Ghiabaklou (2010) demonstraram as seguintes condições para as aberturas:

- Aberturas de entrada de ar maior do que aberturas de saída de ar reduzem o fluxo proporcionando uma distribuição uniforme da velocidade do ar no interior do ambiente; e
- As aberturas iguais de entrada e saída de ar definem uma média de velocidade de ar no interior dos ambientes que depende da porosidade do mesmo, proporcionando assim uma maior uniformidade da ventilação.

Os estudos desenvolvidos por Sobin (1981) destacados por Bittencourt e Cândido (2006) ressaltam que os formatos quadrados, retangulares horizontais e verticais são mais utilizados em edificações e que entre a análise dos três formatos, considerando a mesma área de

abertura, o formato retangular horizontal apresentou maior rendimento médio para os diferentes ângulos de incidência do vento, melhorando assim as condições térmicas no interior do ambiente (Figura 14).

Figura 14: Flutuações do rendimento médio da incidência do vento para três formatos de abertura



Fonte: Bittencourt e Cândido (2006).

Por sua vez, Favarolo e Manz (2005) analisaram o efeito do coeficiente de pressão da ventilação natural em ambientes de escritórios na Suíça utilizando somente uma única abertura, e concluíram que o formato com o pior desempenho foi o retangular vertical, quando comparados a formatos quadrados.

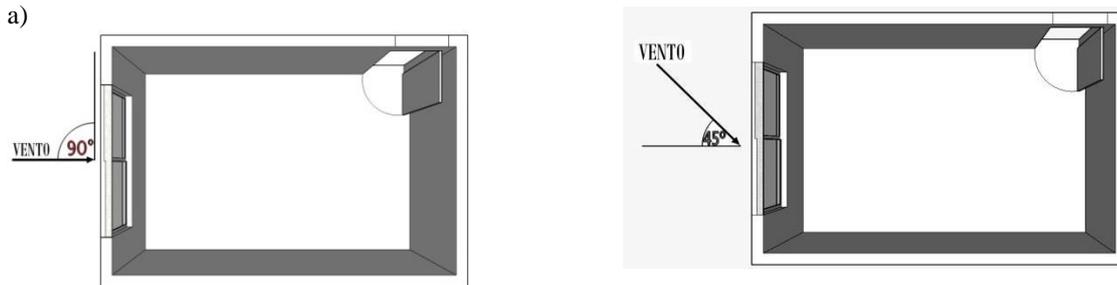
Para a Chartered..., (1999), apesar da necessidade de estudos para determinar a dimensão de aberturas ideais para cada região climática, pode-se concluir que a distribuição de forma cuidadosa na fachada pode aumentar o fluxo de ar no interior da edificação, assim como a definição de janelas com aberturas reguláveis.

#### F - LOCALIZAÇÃO

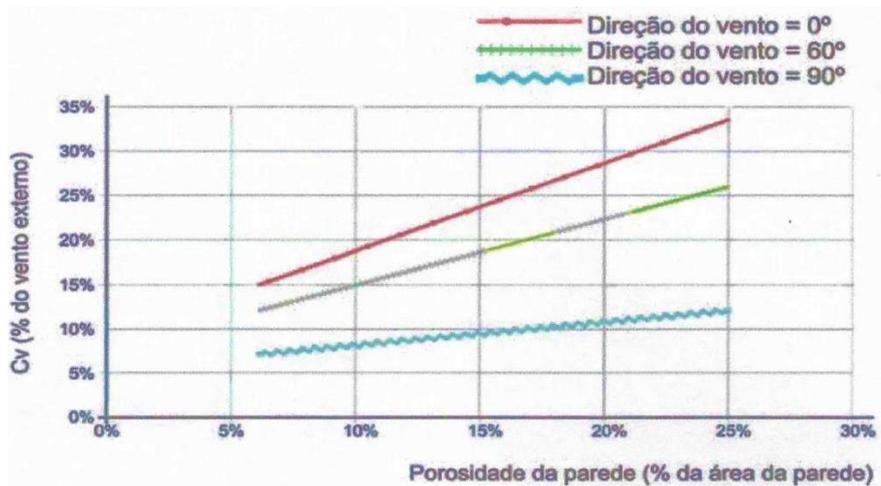
Outra importante variável da janela está em determinar a localização de entrada do ar, definindo assim, as direções dos fluxos de ventilação. Os estudos desenvolvidos por Kukreja em 1978 e apresentados por Hertz (1998) demonstraram diversas possibilidades de localização das aberturas (janelas e portas) de um ambiente com várias orientações em relação à incidência do vento.

As análises definiram que a melhor condição para a ventilação interna foi com a direção do vento perpendicular a abertura, considerando a abertura da janela em parede perpendicular a parede da porta, e a pior condição de ventilação interna foi para a direção do vento oblíqua a abertura ( $45^\circ$  em relação ao ângulo de  $90^\circ$ ) considerando a mesma situação de posicionamento das aberturas, janelas e portas (Figura 15 a, b).

Figura 15: a) Posicionamento das aberturas e b) Percentual de vento em relação à porosidade da parede



b)



Fonte: Adaptado de Bittencourt e Cândido, (2006).

Conforme já identificado anteriormente por Nico-Rodrigues (2008, 2011) a definição do tipo de janela mais adequado, para desempenhar melhores condições térmicas no ambiente residencial na cidade de Vitória, consideram as premissas indispensáveis para a qualidade do ambiente interior, no que se relaciona às janelas, são: elementos permeáveis, dispositivos de sombra, dimensões adequadas, localização; visualidade e, principalmente, a condição de operabilidade pelo usuário.

Para Akutsu e Vittorino (1995) e Roetzel et al., (2010), para a determinação de modelos de janelas que possibilite controlar as alterações das condições térmicas do ambiente interno, almejando um nível satisfatório de desempenho no ambiente interno é necessário que se considere as seguintes características:

- Tipo de janela (porcentagem de área útil, controlabilidade dos elementos permeáveis ao ar, separação de ar quente e frio e porcentagem de área transparente e opaca);

- Desenho na fachada;
- Dimensionamento das entradas e saídas de ar; e
- Posicionamento das janelas.

#### EXEMPLOS DE TIPOS DE JANELAS PARA A CONDIÇÃO DE CLIMA QUENTE E ÚMIDO

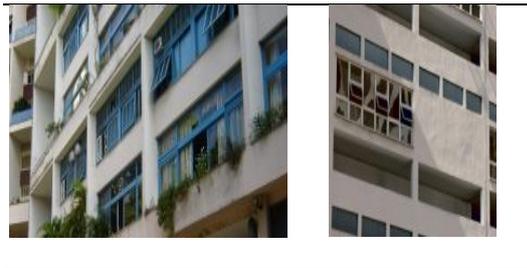
A evolução da técnica construtiva, bem como o crescente interesse imobiliário para os edifícios residenciais multifamiliares (PEREIRA; GHISI, 2011), levou à simplificação do componente janela, deixando-a adaptável ao sistema construtivo, porém com perceptíveis características que induzem às condições desfavoráveis para a habitabilidade.

A utilização de elementos com conceitos modernistas desencadeou o surgimento de ideias que culminaram, em novas propostas e soluções de aberturas possibilitando o uso dos condicionantes naturais. Na Figura 16 seguem apresentados alguns exemplos que caracteristicamente foram projetados, a partir de componentes construtivos e tipos de janela preocupados com os aspectos da habitabilidade, especialmente no que se refere a busca do conforto térmico em edificações residenciais.

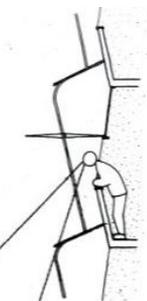
Os exemplos demonstrados são em sua totalidade de edificações localizadas no Rio de Janeiro (RJ) e São Paulo (SP) considerado na época, os dois grandes centros urbanos.

Figura 16: Tipos de janelas utilizadas em edifícios residenciais multifamiliares

(continua)

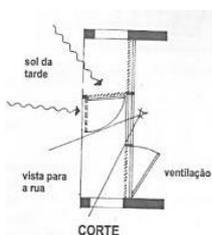
	<p>Detalhe das janelas do Edifício Residencial Júlio Barros Barreto, (RJ), com caixilhos no sistema fixo e sistema de abertura do tipo maxim-ar.</p>
<p>Fonte: Estádio Cultura. Acesso em: 10 set. 2014.</p>	
	<p>Detalhes das janelas do Edifício Louveira, (RJ), com aberturas reguláveis que permitem o controle da insolação.</p>
<p>Fonte: Agua furtado. Acesso em: 10 set. 2014</p>	

(conclusão)



Detalhe da janela do Edifício Marquês de Herval, (RJ), com controle para ventilação e insolação.

Fonte: Coisas da Arquitetura. Acesso em: 10 set. 2014.



Janela no edifício MMM Roberto, (RJ), detalhe da proteção contra a radiação solar.

Fonte: Arcoweb. Acesso em: 10 set. 2014.



Detalhes da porta-janela com veneziana no sistema de abertura de correr do Edifício Atlanta, (SP).

Fonte: Silva (2013).

O modelo da janela é determinante para sua usabilidade, bem como para adequar o movimento do ar para as condições desejáveis de conforto e, também, para evitar o desconforto com correntes de ar indesejáveis (CHARTERED..., 1999). A escolha inadequada de modelos têm contribuído significativamente para o consumo de energia em edifício residencial (KIM et al., 2014) sendo que parte da energia para condicionar ambientes é atribuída à transferência de calor por meio das janelas (YOO et al., 2005).

A definição do modelo de janela adequado às exigências do usuário é condicionante que direciona para a utilização de elementos, que permitem uma permeabilidade do ar, definindo os níveis de fluabilidade da ventilação no ambiente, principalmente por meio do uso de diferentes sistemas de abertura.

Para Albatici e Passerini (2011) são necessários modelos diferentes de janelas para atender às particularidades de cada orientação e quando se determina um tipo de janela é importante considerar fatores como conforto visual, salubridade, características arquitetônicas, facilidade

de operação e manutenção, dentre outros. Estudos relacionados a diferentes tipos de janelas realizados por Richter et al., (2003) e Dili, Naseerb e Varghesec (2011) foram efetuados em ambientes de escritório, sendo constatado que a renovação do ar é variável de acordo com cada modelo estudado, demonstrando que o tamanho e a posição das janelas têm influência significativa sobre as taxa de ventilação.

Destaca-se ainda que a necessidade humana de manter a socialização motivou a criação de elementos construtivos que proporcionassem a interação com o espaço urbano, assim como permitissem que as condicionantes naturais – como ventilação e iluminação naturais – fossem utilizados enquanto elementos primordiais para a qualidade de vida e para a definição das condições de conforto no interior da edificação. Nesse sentido, a janela, entre outros elementos construtivos, possui a função determinante de controlar as variações climáticas dentro do ambiente construído e definir condições fisiológicas satisfatórias.

## 2.2 CONFORTO TÉRMICO

Os estudos das situações favoráveis para o conforto térmico dos usuários, especialmente onde o controle das condições internas do ambiente é efetuado por equipamentos para resfriamento ou por condicionantes naturais - ventilação e iluminação - são ações que objetivam atingir parâmetros que minimizem a quantidade de indivíduos insatisfeitos com a condição térmica do ambiente.

Tibirica (1999) afirma que dentre as condições de habitabilidade requeridas em edificações, encontram-se as exigências relacionadas ao conforto ambiental. A *International Standard Organization* (ISO), (INTERNATIONAL..., 2005) identifica como principais necessidades dos usuários os aspectos hidrotérmicos, visuais, auditivos, a qualidade do ar interior e a estanqueidade ao som, a chuva e ao ar.

Essa norma salienta que a habitabilidade do ambiente, bem como a aceitabilidade das condições pelo usuário, são fatores que refletem em três níveis de ações: nas mudanças fisiológicas, nas mudanças comportamentais do usuário, e em alterações no edifício.

Segundo ASHRAE 55 (AMERICAN..., 2004) conforto térmico é um fenômeno psicológico onde o estado de espírito expressa a satisfação térmica do usuário com o ambiente. Para Brager e De Dear (2001) a definição de aceitabilidade não está colocada de forma precisa na norma, contudo, na comunidade científica o termo é adotado para relacionar à satisfação, que por sua vez está indiretamente associada às sensações térmicas (frio, calor e neutro) sendo

estas as principais referências para definir os questionamentos mais frequentes em estudos de laboratório e de campo.

O conforto térmico é resultado de uma combinação de parâmetros ambientais e humanos e, portanto, pode-se afirmar que as sensações humanas são consequência dos estímulos ambientais.

Os estudos para avaliação do conforto térmico tiveram como marco as pesquisas realizadas em câmaras climatizadas desenvolvidas por Povl Ole Fanger na década de 70 do século passado, que avaliou as sensações térmicas em três condições: equilíbrio de calor no estado estacionário; temperatura média da pele; e a taxa de transpiração que devem estar relacionadas com a taxa metabólica (DE DEAR; FOUNTAIN, 1994). Estas condições foram controladas e manipuladas, e os resultados definiram uma melhor confortabilidade para o usuário com a combinação entre as variáveis.

O modelo de Fanger considerou a taxa de metabolismo (calor produzido), o vestuário e as condições ambientais (temperatura do ar, temperatura média radiante, velocidade relativa do ar e pressão de vapor d'água) determinando equações e métodos que forneceram subsídios para a definição do *Predicted Mean Vote* (PMV) e o *Percentage of Dissatisfied* (PPD) utilizados nas normas ASHRAE 55, *European Committee for Standardization 1752* (CEN CR 1752) e ISO 7730, (AMERICAN..., 2004, EUROPEAN..., 2005, INTERNATIONAL..., 2005, PEETERS et al., 2009, CÂNDIDO, 2011b, LAMBERTS et al., 2011).

A teoria de conforto térmico estático de Fanger tornou-se discutível, pois a determinação de limites confortáveis de temperatura e os efeitos do ambiente controlado ocorrem pelas trocas físicas de calor com a superfície do corpo, sabendo que a manutenção da temperatura interna do corpo depende da resposta fisiológica (NICOL, 2001, DE DEAR, 2004, CÂNDIDO, 2011b, LAMBERTS et al., 2011, SINGH; MAHAPATRA; ATREYA, 2011, CÂNDIDO; DE DEAR, 2012, HALAWA; HOOFF, 2012). No entanto, é importante ressaltar que outros fatores secundários também afetam as condições de conforto, de acordo com circunstâncias específicas do ambiente e pessoais.

Para Brager e De Dear (2001) o conforto é uma condição definida pelo contexto. Usuários aclimatados em espaços refrigerados artificialmente são prováveis de possuírem expectativas para temperaturas mais baixas e homogêneas, tendo um nível crítico de aceitabilidade, pois a menor alteração deste nível de conforto leva-os ao desconforto. Em oposição, usuários que utilizam ambientes ventilados naturalmente são suscetíveis às alterações climáticas sazonais

ou diárias utilizando meios adaptáveis, como mudança do vestuário, operacionalização das aberturas, uso de ventiladores, entre outros procedimentos que possibilitam a desenvolver percepções térmicas para um maior intervalo de variação de temperatura.

Destaca-se que um mesmo ambiente pode ter uma condição térmica diferente para diferentes indivíduos ou diferentes indivíduos podem ter a mesma sensação térmica, em ambientes térmicos diferentes (DE DEAR; BRAGER, 2002).

É importante mencionar que a filosofia de ar fresco para o conforto térmico eventualmente, requer consumo de energia para o uso de equipamento para resfriamento, visto ser uma atitude restrita, baseada unicamente em um agente estático, não podendo ser um critério a ser adotado para espaços internos, quando ações para o uso de atitudes adaptativas estão sendo estudadas e utilizadas (DE DEAR; BRAGER, 1998).

As implicações decorrentes das variações climáticas incidem diretamente nas condições de conforto do usuário, em decorrência das características físicas das construções que, muitas vezes, não estão adequadas ao clima da região. Para Roaf, Crichton e Nicol (2009) a eficácia das alterações no edifício para o alcance de melhores condições de conforto no ambiente interno, depende, entre outros fatores, da capacidade do usuário em alterar seu comportamento e atitude em relação às mudanças.

### 2.2.1 Modelo adaptativo

Os estudos sobre as adaptações do conforto térmico tiveram grande vulto nas décadas de 1970 e 1980 (BRAGER; DE DEAR, 2001, DE DEAR, 2011), sendo intensificado a partir dos estudos de Humphreys em 1976 (HUMPHREYS; RIJAL; NICOL, 2013), motivado especialmente pela crise mundial do petróleo e da constatação da necessidade de redução no consumo de energia nas edificações.

O princípio adaptativo converge para ações que o usuário utiliza para alcançar o conforto, de acordo com sua preferência térmica, sendo um agente ativo, diferindo do agente passivo descrito nos espaços climatizados (DE DEAR; BRAGER, 1998, HUMPHREYS; NICOL, 1998, DE DEAR, 2011). O modelo adaptativo não inicia e não prioriza somente a troca de calor, mas principalmente, considera as adaptações comportamentais dos usuários e as adaptações ambientais que o mesmo utiliza para melhorar as condições de conforto térmico, interagindo com o ambiente e se ajustando de acordo com a temperatura interna.

As adaptações dependem do contexto sócio-econômico-cultural, bem como de seu comportamento às variações climáticas. As ações adaptativas decorrem das alterações no isolamento das roupas, na postura, na controlabilidade das aberturas e de seus componentes, tais como brises, venezianas, persianas, entre outros para proporcionar o equilíbrio dinâmico com o ambiente térmico imediato (DJONGYANG; TCHINDA; NJOMO, 2010, DE DEAR, 2011, LIU; YAO; MACCLOY, 2012, HALAWA; HOOF, 2012, HUMPHREYS; RIJAL; NICOL, 2013, DJAMILA; GHU; KUMARESAN, 2013, ANDERSEN et al., 2013, BONTE, THELLIER; LARTIGUE, 2014). Brager e De Dear (2001) mencionam que o grau de controle e adaptabilidade do usuário no ambiente, tende a amenizar as insatisfações relacionadas ao desconforto.

Objetivando incorporar a análise das adaptações humanas, a ASHRAE investigou mais de 20 mil edificações em todo o mundo com relação às condições internas de ambientes climatizados artificialmente e ventilados naturalmente, constatando que as respostas às sensações térmicas estavam relacionadas às temperaturas externas no momento da pesquisa. Os resultados levaram a uma proposta para o padrão de conforto térmico complementando o modelo anterior PMV e PPD definindo uma nova zona de conforto de acordo com a aceitabilidade do usuário para as condições de adaptabilidade (DE DEAR; BRAGER, 1998).

O modelo de conforto adaptativo resultante da pesquisa de campo foi inserido no padrão ASHRAE 55, e resultou da combinação de diversas variáveis físicas e humanas, com ações adaptativas para melhor aceitabilidade das mudanças térmicas do meio (INDRAGANTI, 2010, LIU; YAO; MACCLOY, 2012).

As pesquisas foram efetuadas na grande maioria em escritórios, e tendo uma minoria efetuada em residências, onde constataram diversas formas de adaptações, tais como mudança de atividade, adaptação do vestuário, operacionalização das portas e janelas, consumo de bebidas frias ou quentes, descanso nas horas mais quente, entre outras (PEETERS et al., 2009). A análise destes resultados demonstrou que o indivíduo em ambientes residenciais tem maior controle para a determinação das condições térmicas quando comparados aos indivíduos de ambientes de escritório e que a condição climática induz a situações diversas de adaptações para cada indivíduo (HUMPHREYS; RIJAL; NICOL, 2013).

De Dear, Brager e Cooper (1997) salientam que existe uma diferença entre o grau de termorregulação corporal dos ocupantes de edifícios residenciais, comparados com os ocupantes de edifícios de escritórios, demonstrando que os ocupantes de espaços residenciais

possuem distinções sazonais de isolamento de roupas, bem como o controle das janelas, ações que refletem no nível de conforto térmico.

As adaptações utilizadas pelos usuários para obter o nível de satisfação em ambientes ventilados naturalmente foram classificadas da seguinte forma (DE DEAR; BRAGER, 1998, PEETERS et al., 2009, ROAF; CRICHTON; NICOL, 2009, DE DEAR, 2011, LAMBERTS et al., 2011, LIU; YAO; MACCLOY, 2012):

- Adaptação fisiológica: está relacionada às respostas do ser humano para a alteração fisiológica (exposições ambientais e térmicas que conduzem a diminuição gradual da tensão originada pela exposição), também é considerada regulação térmica do corpo humano;
- Adaptação comportamental: está relacionada às ações consciente e inconsciente do ser humano, podendo alterar as trocas térmicas do corpo. Estas ações podem ser subdivididas em ajustes pessoais (vestuário, metabolismo e postura), ajustes tecnológicos e ambientais (adaptação no edifício, como operacionalizar as aberturas, usar ventiladores, entre outros) e ajustes culturais; e
- Adaptação psicológica: está relacionada às experiências, hábitos e expectativas do ambiente interno, ou seja, as percepções e as reações sensoriais. São experiências subjetivas que não podem ser mensuradas, dependendo, da raça, das condições de vida, dos fatores sociais e financeiros, e outros aspectos que interferem na percepção térmica.

O uso de ações adaptativas para definir as condições térmicas no ambiente imediato é imprescindível, assim como a definição de índices para mensurar quantitativamente e qualitativamente estas condições. Assim, pode-se afirmar que os estudos mencionados anteriormente tornaram-se substancialmente necessários para a definição de índices que auxiliam na busca de soluções, para à melhoria das condições de habitabilidade nos edifícios.

### 2.2.2 Índices de conforto térmico

Os termos índice de desconforto, índice de stress, índice de calor, entre outros de mesma categoria são utilizados para descrever a relação entre um ambiente e a percepção térmica humana, tendo como objetivo, em sua maioria, determinar um índice com finalidades definidas, ou seja, avaliar a percepção térmica humana em ambientes internos e externos; avaliar condições climáticas externas; e prever possíveis riscos térmicos à saúde humana (PEREIRA; ASSIS, 2010, CARLUCCI; PAGLIANO, 2012).

Para Parsons (2003) um índice de conforto térmico é um valor único, que integra o efeito dos parâmetros de referência de um ambiente térmico e terá uma variação de acordo com a tensão térmica experimentada pelo ser humano. A origem dos índices está relacionada aos estudos das condições ambientais para o trabalho em fábricas e minas no início do século XX, resultante da preocupação com a salubridade e com as condições de conforto nos ambientes de trabalho, demonstrado por Bill B. P. Lim em 1983 (BOGO et al., 1994, FROTA; SCHIFFER, 2003).

Com a evolução dos estudos sobre o conforto térmico, uma série de índices foram propostos e classificados em três grupos, considerando as semelhanças entre famílias homogêneas (MACPHERSON, 1962), conforme a seguir detalhado:

- Índice com base no balanço térmico do corpo humano: também denominado índice racional. Integram neste índice, parâmetros fisiológicos comportamentais e climáticos, sendo que a maioria destes parâmetros foi desenvolvida em câmaras termostáticas, relacionando as sensações térmicas do usuário com diversas variáveis ambientais. Um dos índices mais utilizados é o proposto por Fanger.
- Índices com base fisiológica: é definida por meio de equações de regressão correlacionando uma gama ampla de interações ambientais e comportamentais com a tensão térmica produzida sobre os indivíduos. Os índices desta categoria utilizam vários parâmetros, que são representados em uma carta psicométrica.
- Índices com base nas medições de parâmetros físicos: é resultante de medições direta dos parâmetros físicos que descrevem o ambiente térmico e são representados através de uma regressão linear.

Epstein e Moran (2006) após levantamento dos índices propostos por vários pesquisadores e descritos no Quadro 3, constataram que durante um século a maioria dos estudos avaliou as condições para estações quentes, ou seja, desconforto ao calor, e a minoria, para desconforto ao frio.

Quadro 3: Índices de conforto térmico, com destaque para os índices estudados para o clima tropical (\*), o clima subtropical(\*\*) e o clima temperado(\*\*\*)

(continua)

ANO	ÍNDICES	AUTORES (S)
1905	Temperatura de bulbo úmido (WBT)	J.S. HALDANE
1916	<i>Katathermometer</i>	L. HILL; O. GRIFFITH; M. FLACK
1923	Temperatura efetiva (ET) -	F. C. HOUGHTON; C. P. YAGLOU
1929	Temperatura Equivalente (T eq)	A. F. DUFTON
1930	Temperatura de globo-termômetro (GtT)	H. M. VERNON

(continuação)		
1931***	Temperatura operativa	A. P. GAGGE; L. P. HERRINGTON; C. E. A. WINSLOW
1932	Temperatura efetiva corrigida (CET)	H. M. VERNON; C. G. WARNER
1935	Termo integrador	C. E. A. WINSLOW; A. P. GAGGE, L. GREENBURG; I. M. MORIYAMA; E. J. RODEE
1937***	Temperatura operativa (OpT)	C. E. A. WINSLOW; L. P. HERRINGTON; A. P. GAGGE
1937	<i>Humiture</i>	O. F. HEVENER
1941***	Temperatura operativa padrão (SOpt)	A. P. GAGGE
1945***	Taxa de aceitação térmica (TAR)	M. IONIDES; J. PLUMMER; P. A. SIPLE
1945	Índice de efeito fisiológico (Ep)	M. IONIDES; J. PLUMMER; P. A. SIPLE
1945***	Índice frio-vento (WCI)	P. A. SIPLE; C. F. PASSEL
1946	Temperatura efetiva corrigida (CET)	T. BEDFORD
1947***	Taxa de suor prevista para 4 horas (P4SR)	B. MCARDEL; W. DUNHAM; H. E. HOLLING; W. S. S. LADEL; J. W. SCOTT; M. L. THOMSON; J. S. WEINER
1948***	Temperatura resultante (RT)	A. MISSENERD
1950	Índice Craig (I)	CRAIG
1952*	Temperatura Efetiva – determinar a zona de conforto na Índia no período do verão	G. C. MOOKERJEE; M. P. MURGAI
1952*	Temperatura efetiva – incorporou a umidade e a velocidade do ar para determinar as condições de conforto em Calcutá	R. C. RAO
1955*	Temperatura Efetiva – concluiu que era um bom índice para a determinação do conforto para europeus marando na Nigéria	H. R. AMBLER
1955	Índice de estresse por calor (HSI)	H. S. BELDING; T. F. HATCH
1957	Temperatura de bulbo úmido e termômetro de globo (WBGT)	P. YAGLOU; D. MINARD
1957	Índice de Oxford (WD)	A. R. LIND; R. F. HELLON
1957	Índice de desconforto (DI)	E. C. THOM
1958	Índice de tensão térmica (TSI)	D. H. K. LEE
1959	Índice de temperatura e umidade (THI)	E. C. THOM
1959*	Índice de conforto equatorial	C. G. WEBB
1960	Índice de esforço fisiológico (Is)	J. F. K. HALL; W. POLTE
1960	<i>Humiturevisited</i>	V. E. LALLY; B. F. WATSON
1960	Temperatura efetiva – inclusão gradual da umidade	W. KOCH; B. H. JENNINGS; C. M. HUMPHREYS
1961	Índice de desconforto Acumulado (Cum DI)	J. TENNENBAUM; E. SOHAR; R. ADAR; T. GILAT; D. YASKI
1962	Temperatura efetiva Acumulada (Cum ET)	E. SOHAR; D. J. TENNENBAUM; N. ROBINSON
1962	Índice de estresse térmico (ITS)	B. GIVONI
1966	Índice de tensão provocada pelo calor (corrigida) (HSI)	J. S. MCKARNS; R. S. BRIEF
1966	Previsão de frequência cardíaca (HR)	F. H. FULLER; L. BROUHA
1967	Campo radiante eficaz (ERF)	A. P. GAGGE; G. M. RAPP; J. D. HARDY
1970	Porcentagem de pessoas insatisfeitas (PMV)	P. O. FANGER; ROHLES
1970	Zona prescritiva	A. R. LIND
1971	Nova temperatura efetiva (ET*)	A. GAGGE; A. STOLWIJK; Y. NISHI
1971	Temperatura de bulbo úmido (WGT)	J. H. BOTSFORD
1971	Temperatura operativa úmida	Y. NISHI; A. P. GAGGE
1971	Temperatura aparente (AT)	R. G. STEADMAN
1972	Temperatura corporal prevista	B. GIVONI; R. F. GOLDMAN
1972	<i>Skinwettedness</i>	D. M. KERSLAKE
1973	Frequência cardíaca predita	B. GIVONI; R. F. GOLDMAN
1974	Temperatura efetiva padrão (SET)	R. R. GONZALEZ; Y. NISHI; A. P. GAGGE
1974*	Taxas de suor – definidos para habitantes de Roorkee, Índia, Bagdá e Iraque	F. NICOL
1975	Índice para estimar a resposta média ao calor em uma escala de sete categorias	C. M. HUMPHREYS
1977	Índice de conforto equatorial de Webb (ECI) – alterado os limites para Singapura	LIM; R. C. RAO
1978	<i>Skinwettedness</i>	R. R. GONZALEZ; L. G. BERGULND; A. P. GAGGE
1979	Fighter index of thermal stress (FITS)	S. H. NUNNELEY; F. STRIBLEY
1979	Humidex	J. M. MASTERTON; F. A. RICHARDSON
1979	Temperatura aparente (AT)	R. G. STEADMAN
1980	Temperatura uniforme equivalente (EUT)	W. O. WRAY
1981	<i>Effective heat strain index</i> (EHSI)	E. KAMON; C. RYAN
1981	Temperatura efetiva – ambientes climatizados em países de clima temperado	ASHRAE
1982	Perda de suor previsto ( $m_{sw}$ )	Y. SHAPIRO; K. B. PANDOLF; R. F. GOLDMAN
1982	<i>Humisery</i>	M. WEISS

(conclusão)		
1982	<i>Humiditure</i>	M. WEISS
1984	<i>Munich energy balance model for individuals (MEMI)</i>	P. HÖPPE
1984	<i>Predicted percentage of dissatisfied (PPD)</i>	ISO 7730
1985	<i>Skin temperature energy balance index (STEBIDEX)</i>	C. R. DE FREITAS
1985	<i>Heat budget index (HEBIDEX)</i>	C. R. DE FREITAS
1986	<i>Predicted mean vote - modified (PMV*)</i>	A. P. GAGGE; A. P. FOBELETS; L. G. BERGLUND
1987	<i>Survival time outdoors in extreme cold (STOEC)</i>	C. R. DE FREITAS; L. V. SYMON
1987	<i>Tropical summer index (TSI)</i>	BUREAU OF INDIAN STANDARDS
1987	<i>Summer simmer index (SSI)</i>	W. J. PEPI
1988	<i>Wind chill-equivalent temperature (WET)</i>	M. Y. BESHIR; J. D. RAMSEY
1989	Transpiração necessária (SWreq)	ISO 7933
1992	Novo índice de temperatura efetiva (ET*) – como temperatura operativa	ANSI ASHRAE 55
1994	<i>Man-environment heat exchange model (MENEX)</i>	K. BLAZEJCZYK
1996	Índice de tensão provocada pelo calor acumulado (CHSI)	A. FRANK; D. MORAN; Y. EPSTEIN; M. BELOKOPYTOV; Y. SHAPIRO
1998	Índice de esforço fisiológico (PSI)	D. S. MORAN; A. SHITZER; K. B. PANDOLF
1998	Índice de desconforto modificado (MDI)	D. S. MORAN; Y. SHAPIRO; Y. EPSTEIN
2000	<i>New summer simmer index (new SSI)</i>	W. J. PEPI
2001	Índice de estresse ambiental (ESI)	D. S. MORAN; K. B. PANDOLF; Y. SHAPIRO; Y. HELED; Y. SHANI; W. T. MATTHEW; R. R. GONZALES
2002	CIBSE Guia critério J	CIBSE - <i>Chartered Institution of Building Services Engineers, Guide J</i>
2005	<i>Wet-bulb dry temperature (WBTD)</i>	R. F. WALLACE; D. KRIEBEL; L. PUNNETT; D. H. WEGMAN; C. B. WENGER; J. W. GARDNER; R. R. GONZALES
2005	<i>Relative humidity dry temperature (RHDT)</i>	R. F. WALLACE; D. KRIEBEL; L. PUNNETT; D. H. WEGMAN; C. B. WENGER; J. W. GARDNER; R. R. GONZALES
2005	Percentual fora da faixa	ISO 7730
2005	Critério grau horas	ISO 7730
2005	<i>PPD-weighted criterion</i>	ISO 7730
2005	Média PPD	ISO 7730
2005	Cumulativa PPD	ISO 7730
2006	CIBSE Guia critério A	CIBSE - <i>Chartered Institution of Building Services Engineers, Guide A</i>
2007	Critério de grau-hora (modificada)	EN 15251
2008	Risco de superaquecimento	D. ROBINSON; F. HALDI
2008	Risco de superaquecimento	F. NICOL; J. HACKER; B. SPIRES; H. DAVIES
2010	<i>ExceedanceM</i>	S. BORGESON; G. S. BRAGER

Fonte: Carlucci e Pagliano (2012), Bogo et al., (1994).

Os estudos dos índices no século XXI são motivados pela preocupação, principalmente, de analisar as condições internas dos ambientes para minimizar o consumo de energia nas edificações, considerando que na maioria dos países urbanizados a energia tornou-se um tema de fundamental importância no direcionamento das políticas públicas e planos estratégicos. Nesse momento, constatou-se que tanto no âmbito do projeto como a qualidade dos materiais e as tecnologias construtivas utilizadas são fatores contribuintes para a obtenção de níveis favoráveis ou não de desempenho térmico do edifício.

Esta preocupação na definição de índices para mensurar a condição de conforto térmico do usuário é intensificada pelas normativas específicas, que passam a atuar mais incisivamente na definição de limites aceitáveis de temperatura de conforto para ambientes condicionados naturalmente.

### 2.2.3 Normas de conforto térmico

Atualmente são três os padrões internacionais que incorporam o conceito de modelo adaptativo: a ASHRAE 55 (AMERICAN..., 2004) que refere-se ao padrão norte americano; a EN 15251 (EUROPEAN..., 2007), específica para o continente europeu e que não se adequa as condições climáticas do Brasil; e o padrão ISO 7730 (INTERNATIONAL..., 2005), de âmbito internacional.

#### **ASHRAE 55 (2010) – *Thermal Environmental Conditions for human Occupancy***

A preocupação mundial com o aumento e impacto das emissões de carbono e as consequências sobre o clima global instigou o setor de ar condicionado da indústria americana a iniciar, na última década do século XX, pesquisas revendo os conceitos e índices definidores do conforto térmico. Em 2004 foi apresentada uma revisão da norma com uma alternativa no método para definir níveis de conforto térmico nas edificações ventiladas naturalmente, baseados no método de De Dear e Brager de 1998 (DE DEAR, 2011).

Os dados foram analisados, seguindo um protocolo padronizado, possibilitando maior consistência nos resultados, de acordo com o tipo de mecanismo utilizado para o condicionamento do ambiente, ou seja: ar condicionado, ventilação natural e modo misto. A separação dos dados foi em decorrência das observações pontuadas nas pesquisas de campo relacionadas à possibilidade ou não de adaptação do usuário em relação aos ambientes com os diferentes tipos de condicionamento (BRAGER; DE DEAR, 2001).

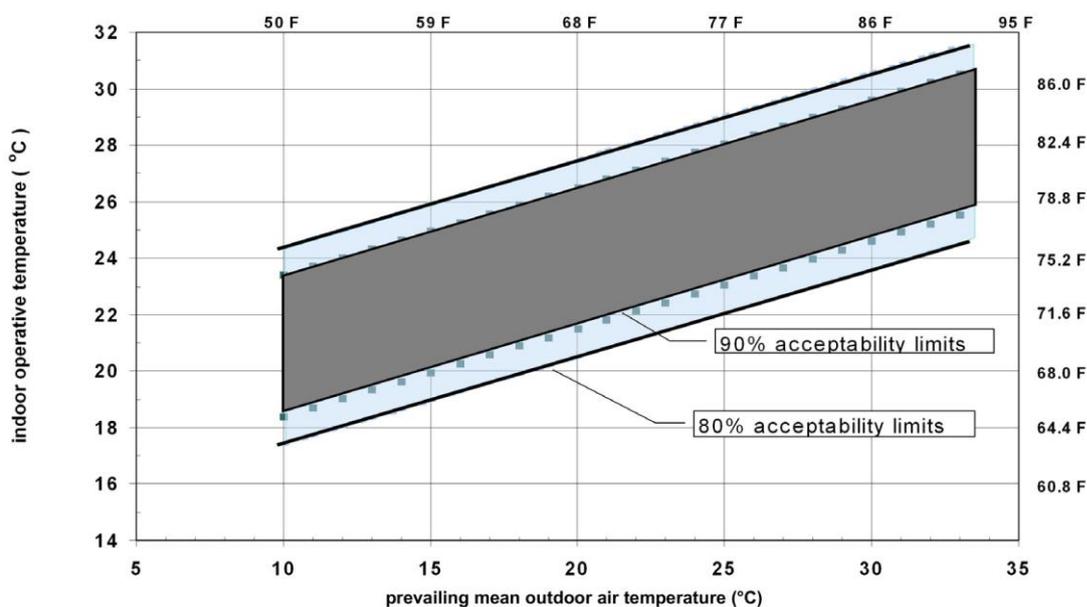
O padrão ASHRAE 55 de 2004 é resultante do padrão de 1992 onde foi considerado os seguintes fatores: condicionantes de projeto, o usuário em condições saudáveis e adultas, valores variáveis de limites para as atividades, para o vestuário e para as condições térmicas internas do ambiente. A versão de 2004 aumentou 10 pontos percentuais para o valor da temperatura neutra, objetivando incorporar o desconforto térmico ocasionado, por exemplo, pelo tipo de projeto e pelas variações sazonais das temperaturas externas determinando assim, um intervalo aceitável de variações de temperatura *versus* tempo (AMERICAN..., 2004, PEETERS et al., 2009, DE DEAR, 2011).

O objetivo principal da ASHRAE 55 é definir as combinações térmicas para ambiente interno ventilado naturalmente, bem como fatores pessoais, especificando as condições térmicas de 80% aceitabilidade ou mais para os usuários e determinando condições ambientais para a

aplicação da mesma aceitabilidade dos resultados para modelos semelhantes (AMERICAN..., 2004).

Considerando o objetivo principal da norma descrito anteriormente, foi apresentado no modelo adaptativo (Gráfico 3) a aceitabilidade de 80% e 90% destacando-se que a aceitabilidade de 80% é apropriada para condições típicas e a aceitabilidade de 90% está relacionada à definição de um padrão mais elevado de conforto térmico (AMERICAN..., 2004). Para Brager e De Dear (2001) a opção em trabalhar nos limites definidos pelo modelo adaptativo está relacionada com as experiências e as supostas expectativas dos usuários.

Gráfico 3: Modelo de conforto adaptativo



Fonte: American..., (2004).

Este modelo determina limites de temperatura operativa de acordo com a variação da média da temperatura do ar externo. As condições impostas referem-se à limitação da média da temperatura do ar externo entre 10°C a 33,5°C, salientando que abaixo ou acima destes valores não é possível ser aplicado este modelo em espaços ventilados naturalmente.

**ISO 7730 (2005) – Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria**

Esta norma é aplicável na avaliação de ambientes térmicos moderados, tendo sua versão atual desenvolvida em conjunto com a ASHRAE 55 de 2004. A ISO 7730 prescreve o uso dos índices PPD e PMV para prever as sensações térmicas do usuário e a descrição das condições ambientais para o conforto térmico.

A ISO 7730 resultou de estudos efetuados na América do Norte e Europa e nas pesquisas de Fanger, salientando que a versão de 1994 possui resultados de pesquisas realizadas no Japão. Em relação à aceitabilidade de ambientes térmicos, a norma determina condições para que o ambiente seja aceitável termicamente satisfazendo o maior número de usuários e prevendo níveis diferentes de aceitabilidade.

As normas que balizam as diretrizes para definir melhores condições térmicas internas, em ambientes ventilados naturalmente, possuem fatores que são intrínsecos ao comportamento do usuário, em relação à definição dos limites mínimos e máximos de aceitabilidade ao desconforto. Estes fatores, somados a necessidade de menor consumo de energia, são fundamentais no direcionamento, ainda na fase de projeto, da utilização de materiais, componentes e técnicas construtivas que proporcionem ambientes mais confortáveis.

Considerando que o equilíbrio térmico responde por alguns graus de diferença referente à adoção de atitudes comportamentais, não sendo capaz de mensurar a dimensão psicológica, que tem uma importância considerável em contextos onde os usuários interagem com o meio ambiente ou tem experiências térmicas diversas podendo alterar suas expectativas e assim, sua satisfação e sensação. Desta forma, a caracterização de um espaço com mais proximidade destes efeitos são os ambientes ventilados naturalmente (BRAGER; DE DEAR, 2001).

### 2.3 VENTILAÇÃO NATURAL

Objetivando proporcionar conforto e qualidade do ar interno, as renovações de ar no ambiente é um fenômeno importante para a obtenção da eficiência nas edificações (ZHOU et al., 2014). Este fenômeno é dividido em duas categorias: ventilação e infiltração. A ventilação segundo a ASHRAE 62 (AMERICAN..., 2001) é a introdução intencional do ar do exterior para o interior do edifício, que também pode ocorrer com o ar que flui de um ambiente interno para outro, sendo intencional ou não. A ventilação é dividida em natural e forçada.

A ventilação natural é ocasionada pela diferença de pressão do ar, que pode ocorrer por ações dos ventos e pela diferença de densidade do ar, devido à diferença de temperatura. Consistem no fluxo de ar intencional por meio das janelas, portas e outros tipos de aberturas. A ventilação forçada ou mecânica é ocasionada pelo uso de equipamentos como ventiladores, insufladores e exaustores. A infiltração consiste no fluxo de ar do exterior para o interior do ambiente por meio das frestas e outras aberturas não intencionais, podendo ocorrer por diferença de pressão por meios naturais ou artificiais (AMERICAN..., 2001).

Para Raja et al., (2001) as edificações utilizam tanto a ventilação como a infiltração oriundas das portas e janelas para permitir a ventilação nos ambientes. Os efeitos da ventilação natural estão relacionados ao efeito da ventilação cruzada e no efeito de massa térmica para ventilação noturna (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2006, LAMBERTS, DUTRA; PEREIRA, 2014).

O movimento do ar é decorrente de três princípios que o direcionam, de acordo com Brown e Dekay (2004): 1º - devido a fricção, a velocidade do vento é menor próxima à superfície terrestre quando comparado com as partes mais elevadas; 2º - devido à inércia, o ar tende a manter-se na mesma direção, quando se defronta com um obstáculo; e 3º - devido às diferenças de pressão, o ar flui de zonas de alta pressão para zonas de baixa pressão. A interferência das irregularidades do solo são fatores que determinam a redução da velocidade do vento para cada sítio.

O movimento do ar ao redor das edificações, decorrente das diferenças de pressão, é determinado principalmente, pela distribuição espacial dos edifícios no sítio urbano. As pesquisas desenvolvidas por Victor Olgyay em 1963 e Arthur Bowen em 1983, mencionados em Bittencourt e Cândido (2006) registraram três arranjos mais comuns de disposição espacial dos edifícios (Figura 17). A situação a), com as edificações escalonadas e o vento perpendicular à maior fachada, configura uma menor área de sombra de vento, quando comparada com o arranjo normalmente encontrado na malha urbana, demonstrado na situação b). No entanto, a situação c) é a que se apresenta mais favorável, considerando o potencial de ventilação quando a ação do vento ocorre através da incidência oblíqua aos edifícios.

Figura 17: Fluxo do vento no entorno dos edifícios considerando 3 tipos de distribuição espacial

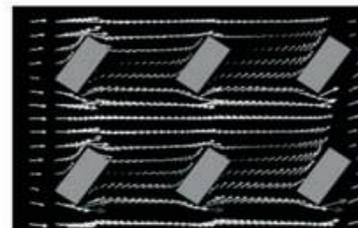
a) Edifícios implantados de forma escalonada e com a face maior perpendicular aos ventos dominantes



b) Edifícios implantados com arranjo normalmente encontrados na malha urbana



c) Edifícios implantados obliquamente em relação à direção do vento

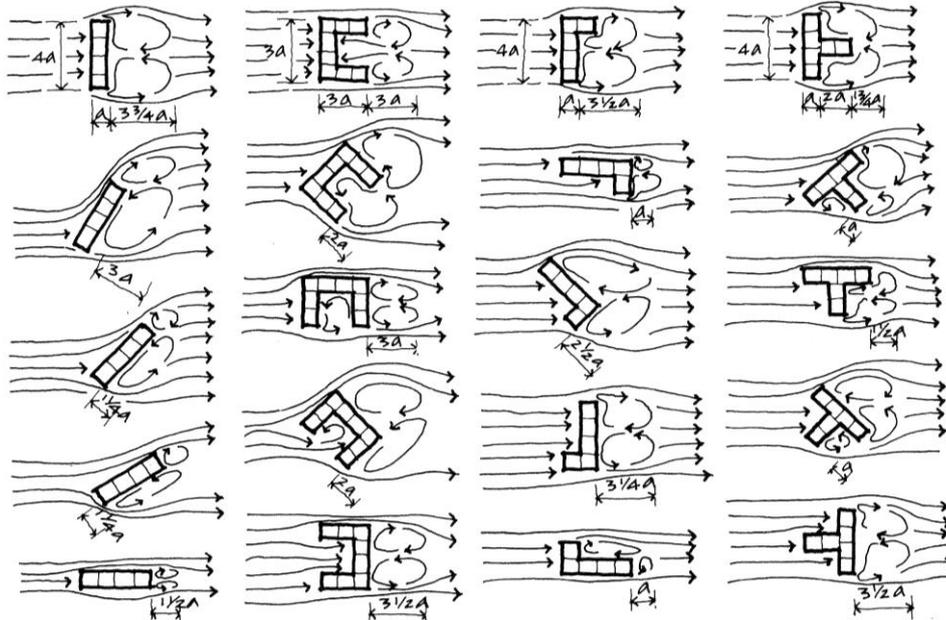


Fonte: Bittencourt e Cândido (2006).

Ressalta-se que as distâncias entre os edifícios também é um fator que interfere no fluxo de ar ao redor das estruturas. Tanto Brown e Dekay (2004) como Lamberts, Dutra e Pereira (2014) demonstraram os resultados das pesquisas desenvolvidas por Benjamin H. Evans em 1957, e

John Martin Evans e Silvia de Shiller em 1988 sobre o direcionamento do fluxo de vento para disposições diferentes de plantas baixas, demonstrando que plantas com configurações em C, L e T podem apresentar resultados mais positivos, conforme demonstrado na Figura 18.

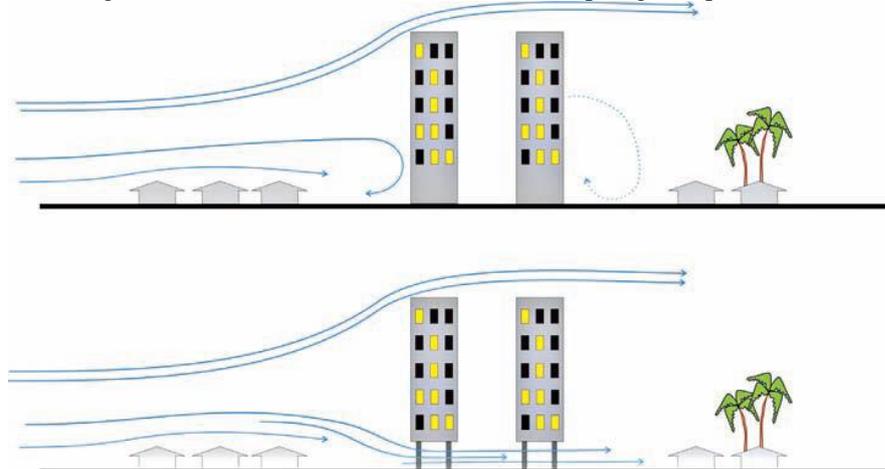
Figura 18: Comportamento do fluxo de ar em diversificadas soluções em plantas baixas



Fonte: Bowen e Dekay (2004).

As zonas de baixa pressão originadas pela disposição da edificação em relação à direção dos ventos produzem ventos com pouca velocidade, definindo zonas de sucção. Geralmente as zonas de alta pressão estão localizadas a barlavento e de baixa pressão a sotavento. Outros fatores que atenuam o tamanho da denominada “sombra de vento” está relacionado às dimensões das aberturas, ressaltando ainda que as edificações com pilotis, representadas na Figura 19, maximizam a penetração dos ventos na malha urbana, principalmente na altura do transeunte (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2006).

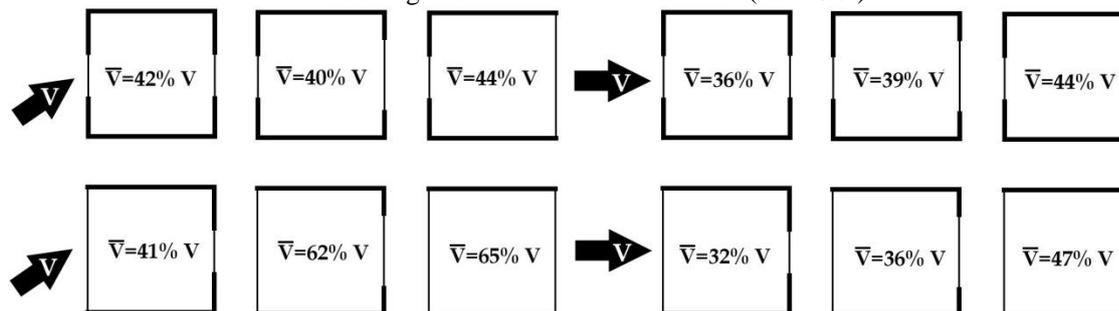
Figura 19: Fluxo de vento de acordo com a tipologia arquitetônica



Fonte: Bittencourt e Cândido (2010)

Outra técnica eficaz para possibilitar o fluxo de ar no ambiente é a utilização da ventilação cruzada. A influência do tamanho das aberturas foi estudada por Baruch Givoni em 1969 e mencionados por Bittencourt e Cândido (2006), relatando que aberturas maiores a sotavento proporcionam taxas maiores de ventilação do que as localizadas a barlavento. Salienta-se que na situação inversa, ou seja, quando as aberturas maiores estão a barlavento, as taxas de fluxo de ar são menores, possibilitando uma distribuição mais uniforme da velocidade do vento dentro do ambiente (Figura 20).

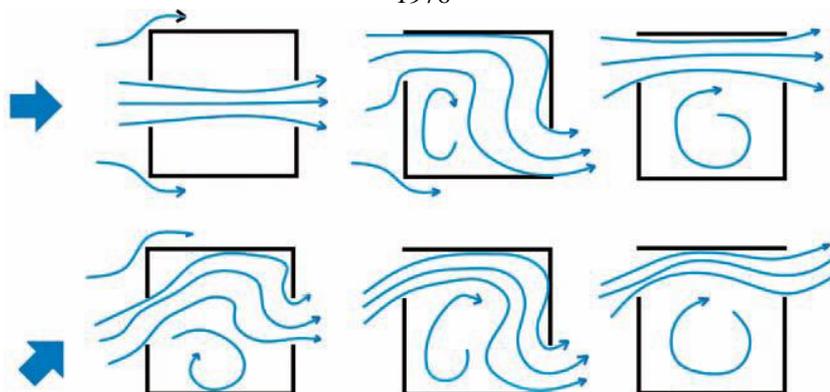
Figura 20: Velocidade média interna no ambiente em relação às aberturas de entrada e saída do ar para dois ângulos diferentes de incidência (45° e 90°)



Fonte: Bittencourt e Cândido (2006).

Outro importante fator, desenvolvido por Baruch Givoni em 1976, Sobin 1981 e Gandemer e Bernaud 1989 mencionado por Bittencourt e Cândido (2010) está relacionado à localização das aberturas, considerando aberturas de dimensões iguais. É possível observar na Figura 21 que aberturas opostas na mesma direção produzem taxas mais elevadas de velocidade do vento, enquanto as aberturas localizadas em paredes adjacentes e distanciadas definem uma ventilação mais eficiente, quando se tem o vento perpendicular a abertura. Já quando o vento incide obliquamente à abertura, tem-se uma redução na velocidade do vento.

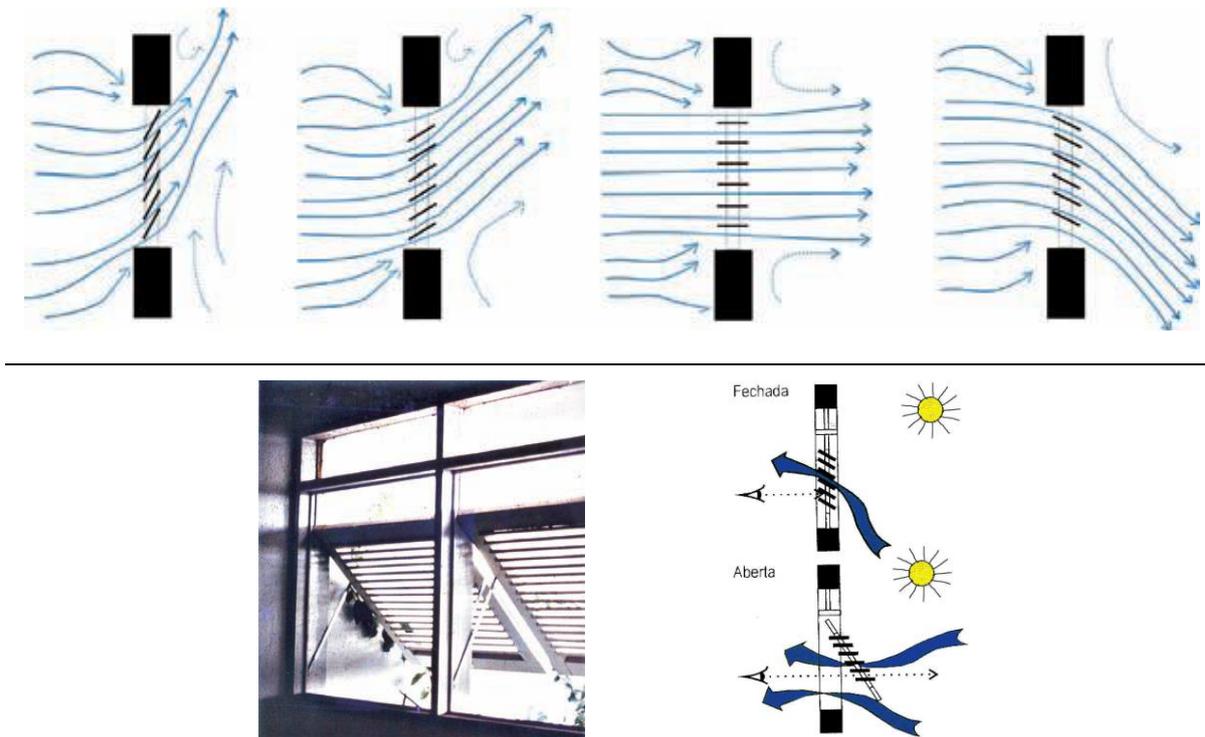
Figura 21: Distribuição do fluxo de vento de acordo com a localização das aberturas para a orientação de incidência do vento perpendicular e oblíqua à abertura. Trabalho desenvolvido por Baruch Givoni em 1976



Fonte: Bittencourt e Cândido (2010).

Observa-se que alguns elementos arquitetônicos são fundamentais quando se considera a necessidade de direcionar, desviar e até mesmo filtrar a ventilação natural para o ambiente interno. Dentre os elementos habitualmente utilizados, destacam-se os beirais, platibandas, muros e vegetação, destacando-se ainda os componentes das janelas, tais como as venezianas e proteções solares verticais e horizontais que permitem auxiliar o direcionamento do fluxo de ar para o interior, bem como a proteção à radiação solar direta (Figura 22).

Figura 22: Venezianas móveis para a regulação do fluxo de ar

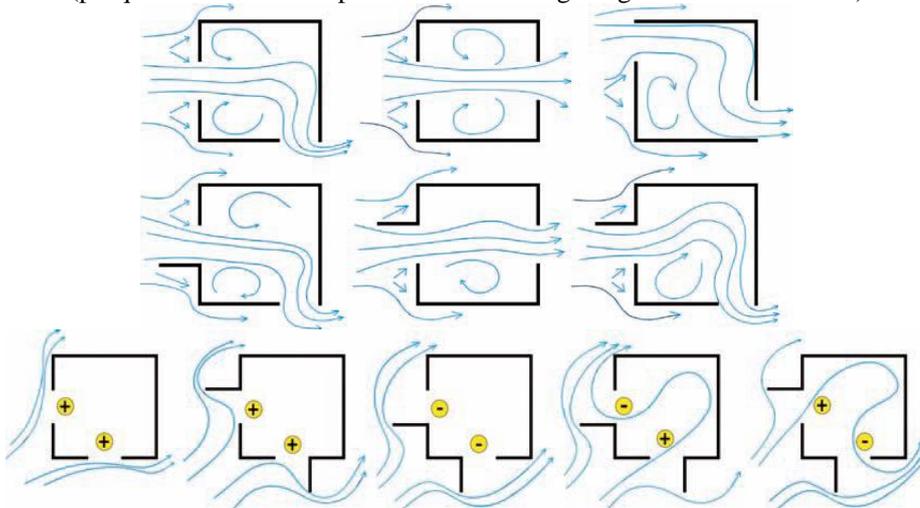


Fonte: Adaptado de Bittencourt e Cândido (2006).

Os estudos desenvolvidos por Otto H. Koennigsberger e outros, publicados no livro *Manual of tropical housing & building* em 1976 e mencionados por Bittencourt e Cândido (2006), demonstraram a interferência do uso de componentes verticais das pressões de ar nas aberturas, alterando a distribuição do fluxo de ar no ambiente interno demonstrado na Figura 23. Também salienta-se que estes componentes são importantes para favorecer a ventilação em ambientes com uma única abertura para o exterior.

Além disso, se a incidência do vento é oblíqua à abertura, o dispositivo vertical pode funcionar como direcionador e captador de vento, aumentando a circulação do ar em ambientes de ventilação cruzada (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2010).

Figura 23: Interferência dos componentes verticais na distribuição do fluxo de ar no interior dos ambientes (pesquisa desenvolvida por Otto H. Koennigsberger e outros em 1976)



Fonte: Bittencourt e Cândido (2010).

Para Wang et al., (2007) a concepção de projetos para edifícios ventilados naturalmente, localizados em regiões de clima quente-úmido, deve considerar as orientações dos ventos, dispositivos de sombra, as seleções de materiais e tamanhos de janelas.

De acordo com os dados demonstrados no Gráfico 2, o consumo de energia nas edificações residenciais teve um crescimento considerável nas últimas décadas. A otimização no uso da ventilação natural pode reduzir o consumo de energia e melhorar as condições térmicas dos ambientes internos, sendo uma das estratégias mais importantes para o Brasil conforme demonstrado na Tabela 1, destacando as cidades com percentuais de necessidade para o uso da ventilação superior a 50% das horas do ano e do verão (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Tabela 1: As capitais brasileiras com percentuais de necessidade para o uso da ventilação natural acima de 50%

<b>Cidades com coordenadas</b>	Necessidade de ventilação natural (% de horas por ANO)	Necessidade de ventilação natural (% de horas de VERÃO)
<b>Belém</b> (01° 27' 21" S; 48° 30' 16" W)	88,8	93,1
<b>Brasília</b> (15° 46' 47" S; 47° 55' 47" W)	17,3	36,3
<b>Florianópolis</b> (27° 35' 48" S; 48° 32' 57" W)	36,4	77,1
<b>Fortaleza</b> (03° 43' 02" S; 38° 32' 35" W)	85,8	92,3
<b>Maceió</b> (09° 39' 57" S; 35° 44' 07" W)	76,4	84,9
<b>Natal</b> (05° 47' 42" S; 35° 12' 34" W)	84,2	88,7
<b>Porto Alegre</b> (30° 01' 59" S; 51° 13' 48" W)	23,3	59,0
<b>Recife</b> (08° 03' 14" S; 34° 52' 52" W)	67,8	76,2
<b>Rio de Janeiro</b> (22° 54' 10" S; 43° 12' 27" W)	60,9	78,0
<b>Salvador</b> (12° 58' 16" S; 38° 30' 39" W)	57,9	80,6
<b>São Luís</b> (02° 31' 47" S; 44° 18' 10" W)	86,7	86,5
<b>São Paulo</b> (23° 32' 51" S; 46° 38' 10" W)	14,3	45,2
<b>Vitória</b> (20° 19' 10" S; 40° 20' 16" W)	60,9	87,4

Fonte: Adaptado de Lamberts, Dutra e Pereira (2014)

### 2.3.1 Ambientes ventilados naturalmente

A preocupação em diminuir os fatores que levam ao aquecimento global e entender as consequências das mudanças climáticas no ambiente construído, tem estimulado e incentivado pesquisadores e órgãos específicos em concentrar esforços para reduzir o consumo de energia nas edificações por meio de adaptações de tecnologias em edifícios em uso, bem como determinar diretrizes para novos edifícios, visando o menor consumo energético.

O consumo de energia para aquecer ou refrigerar ambientes é crescente a cada ano. Na China o aumento é em torno de 15% ressaltando que este consumo é, muitas vezes de origem fóssil, conduzindo à poluição da atmosférica e ao provável aquecimento global (ZHANG et al., 2006).

Observa-se que os benefícios atribuídos ao uso da ventilação natural são considerados elementos de grande importância para reduzir o consumo de energia e melhorar as condições térmicas do ambiente, sendo a principal estratégia utilizada para o controle do conforto térmico dos ambientes habitacionais em clima tropical (KIM; PARK, 2010, YIN et al., 2010, PEREIRA; GHISI, 2011, FAGGIANELLI et al., 2014).

Pesquisas constataram que o uso da ventilação natural em edifícios de escritórios levaram a redução de até 40% do consumo de energia quando comparados aos ambientes com mecanismos de resfriamento por meio do ar condicionado. Constataram, ainda, que o uso da ventilação noturna é um método eficaz para amenizar as condições térmicas nos ambientes (CHARTERED..., 1999, ALLOCA; CHEN; GLICKSMAN, 2003, LIPING; HIEN, 2007, STAVRAKAKIS et al., 2012, FAGGIANELLI et al., 2014).

Djongyang, Tchinda e Njomo (2010) ressaltam que para alcançar a eficiência energética nas edificações o uso de estratégias de projeto como varandas, portas, janelas entre outros, funcionam como controladores e que os mesmos são responsáveis pelo conforto térmico através da ventilação natural, podendo retardar assim, o uso de outros tipos de mecanismos de resfriamento.

Entende-se que a influência dos fatores externos – elementos construtivos, arbóreos, volumetria e orientação da edificação – e internos da edificação – distribuição espacial, configuração e posição das aberturas – são elementos significativos para a obtenção de melhores condições térmicas dos ambientes ventilados naturalmente e no desempenho térmico do mesmo (YIN et al., 2010, GAO; LEE, 2011).

Para Chow et al., (2009) a ventilação natural através da janela é um fator importante para o conforto térmico e pode ser aplicável em diferentes regiões climáticas considerando algumas alterações em seus componentes. Também a operacionalização das janelas deve ser considerado como um elemento de importância, sendo uma das medidas adaptativas mais utilizadas pelos ocupantes nas edificações (NICOL et al., 1999, RAJA et al., 2001, WONG et al., 2002, WANG et al., 2010, INDRAGANTI, 2010b). A possibilidade de abertura das janelas é uma ação fácil, eficiente e induz à economia energética, permitindo aos usuários menor sensação de abafamento devido ao aumento da velocidade do ar (MISHA; RAMGOPAL, 2013).

Observou-se que em diversos estudos, em diferentes climas, os usuários expressaram o interesse por maior circulação de ar melhorando o intervalo entre os valores mínimos e máximos relacionados à faixa de conforto térmico (DE DEAR; FOUNTAIN, 1994, MALLICK, 1996, WONG et al., 2002, YANG; ZHANG, 2008, INDRAGANTI, 2010, YAO; LIU; LI, 2010, CÂNDIDO; DE DEAR; LAMBERTS, 2011). Yun, Steemers e Baker (2008) afirmam que mesmo sendo a temperatura externa mais elevada do que a interna, a condição das janelas abertas não permitem o ganho de calor quando a ventilação é eficiente, pois a mesma auxilia na evaporação do suor, diminuindo a sensação de desconforto térmico.

No entanto, os autores ressaltam que em climas mais quentes não é aconselhável à abertura das janelas quando a temperatura externa atinge um determinado valor. Humphreys, Rijal e Nicol (2013) afirmam que é possível propor edifícios ventilados naturalmente que funcionem dentro de um intervalo de temperatura exterior de 10°C a 30°C, minimizando o uso de mecanismo misto.

No Brasil, as possibilidades de adaptações em ambientes ventilados naturalmente confirmaram a alteração para a aceitabilidade térmica em regiões frias e quentes. Para regiões frias registrou que os usuários tiveram mais tolerância ao desconforto, considerando o intervalo de temperatura entre 14°C e 24°C (XAVIER, 2000, LAZAROTTO; SANTOS, 2007) e em regiões quentes a tolerância foi de 24,5°C a 32°C (ARAÚJO, 1996), resultando em intervalo maior de aceitabilidade e estando nos intervalos definidos na ASHRAE 55 de 2004 (LAMBERTS et al., 2013).

As ações adaptativas mais pontuadas pelos usuários nas pesquisas efetuadas nas regiões brasileiras foram: ajustes do vestuário (RUAS, 1999, LAZAROTTO; SANTOS, 2007, ANDREASI; LAMBERTS; CÂNDIDO, 2010); utilização do ventilador para aumento do movimento do ar (ARAÚJO, 1996, GONÇALVES; VALLE; GARCIA, 2001, NICOL, 2001,

CÂNDIDO, 2011b, DE VECCHI; CÂNDIDO; LAMBERTS, 2013); e a necessidade de maior movimento de ar em região de clima quente úmido (CÂNDIDO, 2011b).

Para Humphreys e Nicol (1998) o que determina as ações de adaptação é a interligação do clima e da cultura. Os estudos de Cândido et al., (2011a) e Cândido, De Dear e Lamberts (2011) demonstraram que o movimento do ar em climas quentes é essencial para melhorar as condições térmicas do espaço. No Brasil as principais pesquisas na área de conforto térmico focam principalmente o grau de aceitabilidade do usuário em relação à velocidade do vento (ANDREASI; LAMBERTS; CÂNDIDO, 2010, CÂNDIDO; DE DEAR; LAMBERTS, 2011).

A diversidade climática do território brasileiro não é propícia para a definição de um único padrão de conforto térmico, considerando que as diferentes zonas bioclimáticas priorizam a ventilação natural como condicionante térmico passivo, em conjunto com os dispositivos de proteção solar (CÂNDIDO et al., 2011a). Esta combinação pode ser adotada considerando maiores níveis de aceitabilidade ao movimento do ar e suas interações, observando cada condição climática.

Ochoa et al. (2012) ressaltam que as contradições quando se requer economia no consumo de energia e conforto visual proporcionado pelas janelas são fatores que devem resultar de um processo de concepção integral, onde devem ser considerados vários aspectos ao mesmo tempo. Os autores enfatizam que a janela como elemento da edificação é o principal componente que interfere no uso de energia e que determina as condições de conforto dos ocupantes.

Tal afirmativa se justifica considerando que dentre as diversas funções da janela, a possibilidade de utilizar a luz natural, apropriar-se do espaço externo, renovar o ar interno, resfriar a massa térmica, bem como moderar as condições térmicas do ambiente, são alguns dos fatores que respondem ao impacto na eficiência energética da edificação (CHARTERED..., 1999; IHM et al., 2012).

Liping e Hien (2007), Spindler e Norford (2009), Schulze e Eicker (2013), Faggianelli et al., (2014) destacaram que as propriedades térmicas e físicas dos materiais das envoltórias não têm muita influência sobre o comportamento térmico dos edifícios, quando estes são ventilados naturalmente durante o período diurno e noturno, e destacam que a massa térmica da envoltória é importante quando se adota a ventilação noturna como estratégia de condicionamento térmico passivo.

A adoção de condicionantes naturais na definição de diretrizes para o conforto térmico significa, também, considerar o comportamento aleatório e, conseqüentemente, de difícil controle. Quando se analisa a ventilação natural, os elementos físicos não são os únicos a serem indicadores do conforto, sendo necessária a realização de simulação do funcionamento e conseqüente desempenho dos elementos construtivos e do edifício (MERMET, 2005, FAGGIANELLI et al., 2014).

## 2.4 DESEMPENHO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS MULTIFAMILIARES

A princípio, ambientes sem condicionamento artificial possuem a capacidade de manter a temperatura interna confortável na maior parte do ano, se os materiais adotados que compõem a envoltória possuírem propriedades termo físicas dentro de critérios pré-estabelecidos para o melhor desempenho da edificação (ZHANG et al., 2006).

Manioglu e Yilmaz (2006) mencionam que a envoltória do edifício é determinante para as condições térmicas internas, resultante dos fluxos de calor através das aberturas e das propriedades térmicas e físicas dos materiais. Alguns dos fatores relacionados ao desempenho do edifício estão vinculados ao sistema construtivo e as características da edificação, considerando as condições climáticas específicas de cada região.

Dentre os sistemas construtivos e características dos edifícios, destacam-se, edifícios com paredes mais espessas e área envidraçada menores que tendem a proporcionar melhores condições térmicas internas (MALLICK, 1996, RAJA et al., 2001), e andares mais baixos de edificações multifamiliares que possibilitam ambientes com temperaturas mais moderadas devido a inexistência da radiação solar direta da cobertura (MALLICK, 1996, INDRAGANTI, 2010b), porém não se pode definir como uma solução a ser utilizada, devendo ser considerado outros fatores relacionados à frequência da ventilação para a situação.

Entretanto, nos andares mais elevados, a pesquisa constatou que os usuários utilizavam mecanismos para resfriamento, como também tiveram uma aceitabilidade para valores maiores de temperatura, fato relacionado à maior circulação de ar (INDRAGANTI, 2010a).

Para a definição de ambientes com o mínimo de desempenho térmico é necessário que sejam consideradas as propriedades técnicas e físicas dos materiais das edificações como prescreve a NBR 15.575 (ASSOCIAÇÃO..., 2013). Destaca-se a crescente preocupação dos países em definir diretrizes para o controle das edificações, com o objetivo de diminuir o consumo de energia proporcionando melhores condições de habitabilidade ao usuário. Esta atitude

influenciou os governos a incentivarem a elaboração de normativas específicas sobre o assunto.

### 2.4.1 Normatização brasileira para o desempenho térmico em edificações

No Brasil, a crise energética de 2001 resultante das alterações climáticas em conjunto com pouco investimento na infraestrutura no setor energético levou o governo a determinar rígidas medidas de controle e altas taxações, resultando na redução no consumo de energia em 20% em todo país (CÂNDIDO et al., 2011). Este fator desencadeou o lançamento da Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, impulsionando em 2005, a proposição de normas que priorizaram requisitos específicos para as condições climáticas do Brasil com o objetivo de melhorar o desempenho nas edificações.

Com o crescente consumo de energia, a melhoria da eficiência energética nas edificações é fator primordial, constatado nos resultados publicados pelo Balanço Energético dos últimos 43 anos, onde o setor residencial teve o maior consumo de energia quando comparado ao setor comercial (MINISTÉRIO..., 2014).

É importante ressaltar que o aumento no consumo de energia mundial impulsionou países como, Estados Unidos, Austrália, Canadá, Inglaterra, Dinamarca, entre outros a definirem diretrizes para componentes específicos da construção civil, priorizando o desempenho da edificação. Dentre as normativas que priorizaram estes fatores, salienta-se a de certificação energética de janelas, que objetiva classificar o componente em relação ao desempenho mínimo definido pelo código energético do país (AVASSO; ANDERSSON, 2003, KARLSSON; ROOS, 2004).

O Brasil a partir de 2011 iniciou os estudos para a publicação da norma de certificação de janelas estando no estágio final de avaliação pública, devendo se tornar mais um instrumento para reduzir a utilização de equipamentos elétricos para refrigeração. Outras normas estão em vigor no país objetivando avaliar o desempenho da edificação bem como, certificar energeticamente edificações em uso.

#### **ABNT NBR 15.220 (2005) – Desempenho térmico de edificações**

Publicada em 2005 a norma de desempenho térmico de edificações é dividida em 5 partes, com descrição de métodos, zoneamento e medições específicos para cada condição determinada. Na parte 3 é descrito o Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes

Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social prescrevendo: os parâmetros e as condições de contorno; as diretrizes construtivas para as 8 zonas bioclimáticas; e as estratégias de condicionamento térmico passivo para cada zona.

Esta normativa apresenta as diretrizes para o uso da ventilação em sete, das oito zonas definidas, não sendo recomendada a ventilação apenas na zona 1, que corresponde a região fria do país. A ventilação cruzada foi recomendada para as zonas 2, 3 e 5, onde é possível manter o fluxo de ar através das aberturas, portas e janelas; a ventilação seletiva, recomendada para as zonas 4, 6 e 7, indicada nos períodos mais quentes ou quando a temperatura interna for superior à externa; e a ventilação permanente para a zona 8, pela necessidade de ventilação para a melhoria das condições térmicas internas.

### **ABNT NBR 15.575 (2013) - Edificações habitacionais - Desempenho**

Sancionada em 2008 e na sua quarta edição publicada em 2013, objetiva complementar e abranger distintos setores da construção civil. Essa norma determina às condições de habitabilidade para o alcance do conforto ambiental, através das condições mínimas de conforto térmico, lumínico, tátil, antropodinâmico, higrotérmico, visual e psicológico para o usuário. A normativa prioriza as exigências dos usuários em relação à segurança, habitabilidade, sustentabilidade e níveis de desempenho para o edifício habitacional e seus sistemas, quanto ao comportamento e uso, e não prescreve como os sistemas devem ser executados (ASSOCIAÇÃO..., 2013).

É uma norma dividida em seis partes que visa incentivar e balizar o desenvolvimento tecnológico e orientar a avaliação da eficiência técnica e econômica das inovações tecnológicas. Para a avaliação do desempenho térmico, a norma estabelece que sejam atendidas as exigências prescritas na NBR 15.220-3 (ASSOCIAÇÃO..., 2005) considerando a zona bioclimática específica. São definidos os requisitos e critérios para os sistemas de vedação, cobertura e para o edifício como um todo.

Para a avaliação do desempenho térmico por simulação, a norma determina critérios que utilizam valores máximos de temperatura, não considerando fontes internas de calor (ocupantes, lâmpadas outros equipamentos em geral) e determina condições mínimas para a estação do inverno e do verão de acordo com a zona bioclimática (Quadro 4).

Quadro 4: Condições térmicas mínimas de desempenho de acordo com a NBR 15.575

Nível de desempenho	Critério – Zona Bioclimática 8
M - mínimo	$T_{i,max} < T_{e, max}$ Aberturas grandes - $A \geq 8\%$ da área de piso para região Nordeste e Sudeste do Brasil
Critérios para as aberturas	Adotar aberturas com dispositivos de proteção solar e possibilitar uma taxa de renovação do ar de 0,5 ren/h.

Fonte: Associação..., (2013).

### **RTQ-R (2012) – Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais Unifamiliares e Multifamiliares**

O RTQ-R foi sancionado em 2010 e especifica requisitos técnicos e métodos para a classificação de edificações quanto à eficiência energética. É um regulamento que visa a etiquetagem das edificações e analisa os requisitos relacionados à envoltória, ao sistema de iluminação, ao sistema de ar condicionado e o edifício como um todo.

O RTQ-R define diretrizes para o conforto térmico considerando principalmente, o aspecto da ventilação através da área mínima de abertura para ambientes de longa permanência, ou seja, quartos, sala e cozinha e da determinação dos critérios de controle.

São definidas também ações em relação ao alcance do condicionamento térmico passivo, tais como ventilação cruzada, ventilação controlável e dispositivos que determinam o nível mínimo de conforto e desempenho térmico do edifício. Dentre esses dispositivos, podem-se destacar: venezianas móveis, peitoris ventilados, torres de vento e outros, assim como aberturas externas através de janelas e rasgos.

Em relação à ventilação natural e as aberturas, o regulamento prescreve percentuais mínimos de áreas para ventilação e determina a ventilação cruzada e permanente para sete das oito regiões bioclimáticas do Brasil, possibilitando ao usuário total controle das condições térmicas do ambiente por meio da operacionalização das janelas.

As propostas de normativas tornam-se um instrumento regularizador que mesmo tendo limitações e necessitando de estudos mais detalhados para os diferentes climas do Brasil, conseguem estimar e ponderar as condições térmicas dos edifícios, por meio de métodos e índices que possibilitam aos profissionais do setor, mensurarem qual solução arquitetônica é viável para um determinado nível de aceitabilidade térmica do usuário.

## 2.4.2 Índices, ferramentas e métodos de avaliação de desempenho térmico

Os diversos índices propostos na evolução dos estudos sobre desempenho térmico da edificação objetivando o conforto térmico têm superado diversos problemas e alcançado conclusões importantes para definição de novas premissas, principalmente para regiões de clima tropical. Dentre os índices utilizados para a avaliação do conforto térmico em ambientes ventilados naturalmente, alguns são destacados pela utilização em normativas e por sua adoção em pesquisas no setor, conforme a seguir descrito:

- Temperatura operativa (AMERICAN..., 2004, EUROPEAN..., 2007, HALDI; MOREL; DAUM 2011);
- Graus horas de desconforto (WILLRATH, 1998, ZHANG et al., 2006, VERSAGE, 2009, BRASIL..., 2010, SILVEIRA; LABAKI, 2012);
- Intensidade de desconforto térmico (SICURELLA; EVOLA; WURTZ, 2012);
- Frequência de desconforto térmico (BRASIL..., 2010a);
- Temperatura e umidade (GIVONI, 1992, PEREIRA; ASSIS, 2010); e
- Porcentagem de tempo de desconforto (OIKONOMOU, 2005, BRASIL..., 2010).

Carlucci e Pagliano (2012) apresentaram estudos propondo uma nova família de índices para avaliação do nível de conforto térmico nos edifícios ao longo de um determinado período e considerando todas as zonas da edificação.

Os vários índices propostos podem ser avaliados por dados simulados ou medidos, conforme detalhado no Quadro 5.

Quadro 5: Descrição dos índices de acordo com a classificação da família

		(continua)					
Família de índices	Índices	Categorias de índices de conforto					
		Índices das normativas brasileiras	Modelo de conforto	Dependente	Simétricos e assimétricos	Aplicável apenas ao verão	Escala de desconforto e limites
Índices de porcentagem	Porcentagem de tempo fora do intervalo do PMV		Fanger	✓	✓		✓
	Porcentagem de tempo fora do intervalo da temperatura operativa do PMV		Fanger	✓	✓		✓
	Porcentagem de tempo fora do intervalo da temperatura operativa do conforto adaptativo	RTQ-C, equivalente a Porcentagem de horas ocupada POC	Modelo adaptativo EN	✓	✓		✓

	(conclusão)						
		CIBSE Guia J					✓
	CIBSE Guia A					✓	✓
Índices acumulados	Critério PPD ponderado		Fanger	✓			
	PPD acumulado		Fanger		✓		
	Critério grau horas		Fanger	✓			
		RTQ-R e projeto de norma CEE 191		Modelo adaptativo EN	✓		
	Ultrapassagem PPD		Fanger	✓		✓	
	Ultrapassagem adaptativa			Modelo adaptativo ASHRAE	✓		✓
Índices de risco	Risco de super aquecimento Nicol et. al.		Modelo adaptativo EN			✓	
	Risco de super aquecimento Robinson e Haldi				✓	✓	✓
Índices de média	Média PPD		Fanger		✓		
	Diferença entre a temperatura máxima e a temperatura média anual					✓	

Fonte: Adaptado de Carlucci e Pagliano (2012).

Carlucci e Pagliano (2012) prescrevem que o índice baseado nos modelos de conforto tem seus conceitos fundamentados nos estudos desenvolvidos por Fanger e para o conforto adaptativo da ASHRAE 55, tendo como referência a temperatura operativa ou em uma categoria de conforto definida por porcentagem, grau-hora, considerando dados horários ou diários. Para os índices categorizados como dependentes é necessário que o modelo de conforto esteja definido em conjunto com o valor do índice, para que não tenha descontinuidade nos resultados. Também os autores descrevem que a categoria de índices simétricos e assimétricos corresponde à avaliação do desconforto. Sendo classificados como assimétricos quando considera o superaquecimento e o arrefecimento e classificados como assimétricos quando consideram o superaquecimento para o verão e o arrefecimento para o inverno.

Nas pesquisas desenvolvidas no Brasil, Pereira e Assis (2010) concluíram que apesar das vantagens, os índices de conforto adaptativo possuem limitações, pois a utilização somente da variável temperatura do ar, por alguns índices, não é suficiente para definir as condições de conforto. Constataram ainda que, em situações mais complexas, o uso da temperatura operativa mostrou-se melhor adequada na definição das condições de conforto, quando se considera o impacto causado pela carga térmica devido à radiação.

## A - FERRAMENTAS DE AVALIAÇÃO

As ferramentas de avaliação de desempenho térmico e energético para ambientes ventilados têm fundamentado as pesquisas e as normativas descritas anteriormente, que objetivaram minimizar as insatisfações térmicas dos usuários em relação ao ambiente interno. As principais ferramentas de avaliação mencionadas na literatura referenciada são: simulações computacionais, testes físicos com modelos, medições *in loco*, modelos matemáticos específicos, entre outros.

Para o desenvolvimento desta pesquisa adotou-se a ferramenta de simulação, visto ser o instrumento mais adequado para análise pretendida, considerando a inviabilidade temporal e de recursos financeiros e humanos para a realização de medições com dados válidos. A opção pela simulação também foi motivada por ter o objetivo da pesquisa relacionada com a avaliação das condições internas do ambiente com tipos diferentes de janelas, ainda na fase de projeto, considerando as condições climáticas, as propriedades térmicas e físicas dos materiais, operacionalização das aberturas, metabolismo do usuário e ocupação do ambiente.

## B - MÉTODOS DE AVALIAÇÃO

Para a avaliação do desempenho térmico das edificações multifamiliares seguem descritos os métodos selecionados como de maior relevância para a pesquisa, ou seja, a NBR 15.575 e o RTQ-R (normativas brasileiras); a carta psicométrica e a abordagem estatística.

### **NBR 15.575 (2013)**

Para a avaliação do desempenho térmico a normativa descreve métodos de análise para sistemas de vedação vertical externo, podendo ser avaliado pelo procedimento simplificado. Caso não atenda os critérios prescritos pela norma é necessário efetuar a análise por procedimento de simulação ou de medições de campo. Os procedimentos de análise por simulação determinam as condições mínimas das propriedades térmicas e físicas dos materiais apresentando transmitância térmica e capacidade térmica para proporcionar o nível mínimo de desempenho. São definidas as condições de ventilação e sombreamento por meio de taxas mínimas de renovação de ar por hora (renovação por frestas), podendo ser considerada a abertura sem sombreamento e com 50% de sombreamento para ambientes dormitório e sala.

A norma sugere simulações com um *software* validado pela ASHRAE 140 (AMERICAN..., 2001) que permita definir o comportamento térmico da edificação sob condições dinâmicas e reproduzir os efeitos de inércia térmica. Deve considerar a habitação como um todo, sendo que cada ambiente é classificado como uma zona térmica e os materiais com as especificações

térmicas determinadas pela norma. São definidas as condições para o desempenho no verão e no inverno e a norma considera apenas a temperatura do ar exterior como índice para a análise do desempenho térmico das edificações.

Santos, Alvarez e Nico-Rodrigues (2013) destacaram que mesmo a NBR 15.575 prescrevendo sobre as condições de desempenho térmico nas edificações residenciais, a mesma não considera ou recomenda indicadores de conforto térmico, ou seja, são negligenciados os requisitos referentes à definição dos critérios (quantitativos) do conforto térmico (qualitativos) e os métodos de avaliação. Desta forma, as diretrizes definidas na normativa para a classificação energética da edificação não é consistente, gerando resultados distorcidos, enfatizando que a simplificação do método de avaliação e a ausência de correlação com referências de conforto térmico torna a metodologia vulnerável.

### **RTQ-R (2012)**

O regulamento estabelece requisitos técnicos e métodos de classificação energética de edifícios residenciais unifamiliares e multifamiliares. Para as unidades multifamiliares, objeto desta pesquisa, é adotado a ponderação dos valores da avaliação dos requisitos obtidos em cada unidade autônoma para a definição do desempenho da edificação, atribuindo assim uma classificação de A (mais eficiente) a E (menos eficiente).

Para a definição do nível de classe são propostos métodos prescritivos e de simulação utilizando coeficientes referentes à ventilação natural e ao sistema de aquecimento de água (método prescritivo). Os requisitos de transmitância térmica, capacidade térmica e absorvância solar das paredes e coberturas, em relação aos materiais devem atender aos valores definidos para cada zona bioclimática.

O regulamento determina que as simulações sejam realizadas por um *software* indicado pela ASHRAE 140, com modelagem de 8.760 horas por ano, com definição das horas ocupadas, da potência dos equipamentos, adoção da ventilação natural, definição da inércia térmica da envolvente e a simulação de multi-zonas. O regulamento utiliza somente o indicador de graus-horas de resfriamento como índice para determinar o desempenho energético da edificação, que é definido pela soma da diferença de temperatura operativa horária e a temperatura base (26°C para todos os dias do ano).

A utilização de uma temperatura base para todos os dias do ano, não permite que seja identificado às alterações diárias da temperatura externa e conseqüentemente sua influência

sobre a temperatura operativa. As temperaturas médias diárias da estação do verão diferem muito das temperaturas médias diárias da estação do inverno, por exemplo, e adotar uma única temperatura como referência pode camuflar as alterações horárias de temperatura e refletindo nos resultados das sensações de conforto térmico do usuário.

### **CARTA DE GIVONI (1992)**

A carta psicométrica adaptada para países quentes e úmidos considera o conforto adaptativo e definem diretrizes de projeto de acordo com os condicionantes climáticos, temperatura e umidade relativa do ar para definir limites de conforto térmico. As zonas definidas na carta são: de aquecimento artificial (calefação); de aquecimento solar da edificação; de massa térmica para aquecimento; de conforto térmico (baixa umidade); de conforto térmico; de zona de desumidificação (renovação do ar); de resfriamento evaporativo; de massa térmica de refrigeração; de ventilação; de refrigeração artificial; e de umidificação do ar. Não estão previstas estratégias de controle solar.

As análises de desempenho térmico pela carta psicométrica avaliam os percentuais de horas de conforto e desconforto para o ambiente, partindo do pressuposto que quanto maior a quantidade de horas de conforto, melhor o desempenho térmico do ambiente.

### **ABORDAGEM ESTATÍSTICA (2012)**

Seguindo a teoria de conforto adaptativo adotado na EN 15.251, Sicurella, Evola e Wurtz (2012) propuseram uma análise por meio da abordagem estatística, como método para mensurar as condições de conforto térmico utilizando índices que quantificam o tempo relacionando-o à condição térmica do ambiente, assim como à intensidade desta condição térmica. Os pesquisadores utilizaram os seguintes índices relacionados ao conforto térmico:

- Frequência de Conforto Térmico (FCT)

É a porcentagem de tempo em um período determinado, em que as condições de conforto térmico são atingidas no interior do ambiente. O método utiliza os limites estabelecidos pela EN 15.251 (EUROPEAN..., 2007) para as temperaturas de conforto em função da temperatura média externa. O mesmo conceito pode ser utilizado para obter a Frequência de Desconforto Térmico (FDT) para o calor e para o frio, como a porcentagem de tempo em que o ambiente não está em condições confortáveis termicamente. Este indicador objetiva comparar a eficiência de diferentes tecnologias e soluções construtivas para a melhoria do conforto térmico em períodos curtos ou sazonais.

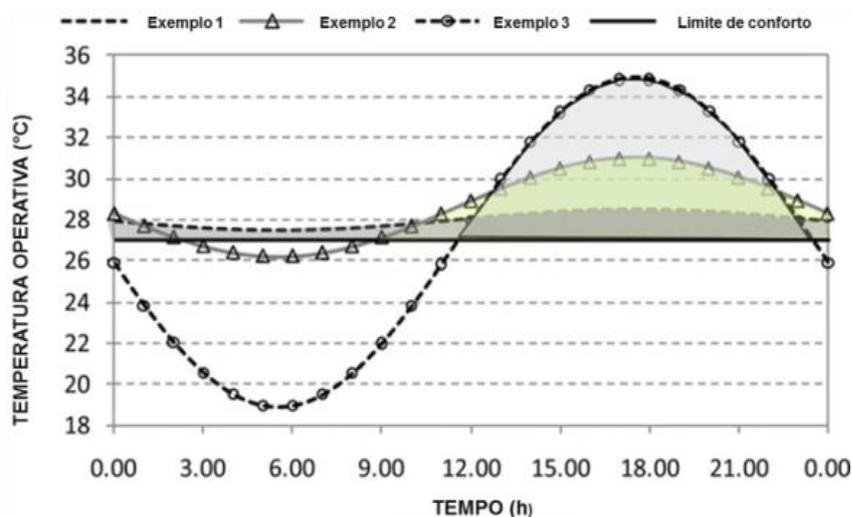
- Intensidade de Desconforto Térmico (IDT)

É definido pela diferença entre a temperatura operativa e o limite superior ou inferior da temperatura de conforto definida para cada dia em análise. A obtenção dos valores do IDT é por meio de equação integral.

Para melhor entendimento da adoção dos índices como indicador de conforto térmico, os autores exemplificam as alterações da temperatura operativa durante 24 horas (Gráfico 4), em três situações diferentes:

- No Exemplo 1, a temperatura operativa é superior à temperatura de conforto em 100% do período, determinando uma sensação de desconforto moderado e estável;
- No Exemplo 2, verifica-se uma flutuação da temperatura operativa menor do que a temperatura de conforto, porém em um período que excede ao limite de conforto, determinando uma sensação de desconforto maior e menos moderada; e
- Para o Exemplo 3, a temperatura operativa com valores menores do que a temperatura de conforto, porém tem-se uma variação brusca da temperatura operativa excedendo a temperatura de conforto, caracterizando uma sensação de desconforto breve, porém intensa.

Gráfico 4: Flutuação de desconforto térmico



Fonte: Adaptado de Sicurella, Evola e Wurtz (2011).

Para Sicurella, Evola e Wurtz (2012), os exemplos descritos no Gráfico 4 ajudam a definir a melhor solução para a melhoria do conforto. O valor elevado de IDT sem flutuação, como no Exemplo 1, é sugerido uma solução de melhoria em todo o edifício, porém para o Exemplo 3, onde tem-se uma maior flutuação denotando um desconforto intenso, a proposta é a utilização da ventilação mais intensa ou adoção de dispositivos de sombra.

A flutuação da temperatura durante as 24 horas do dia possibilitou avaliar os períodos de maior desconforto e propor estratégia construtiva para a melhoria das condições internas, por meio da análise dos valores de temperatura operativa e da temperatura de conforto.

As variações sazonais da temperatura operativa durante o período de 24 horas são importantes para a análise de intensidade e da frequência em que ocorrem. O edifício residencial é um sistema dinâmico, onde o ambiente externo, os ganhos de calor internos e as taxas de ventilação são alguns dos fatores que alteram a temperatura interna. Sabendo que a mesma oscila em torno da temperatura neutra, se os valores se mantêm estáticos, não são possíveis as adaptações, sendo que as limitações de adaptações se formulam como restrições para a amplitude e as variações de frequência (OLESEN; PARSONS, 2002, AMERICAN..., 2004, INTERNATIONAL..., 2005).

## 2.5 CONSIDERAÇÕES DOS TEMAS DA ABORDAGEM TEÓRICA

É possível afirmar que a definição de tipos de janelas inadequadas à região é um importante fator de ineficiência na edificação, principalmente quando se considera o conforto térmico do usuário. A falta de componentes de controle da radiação solar e da ventilação, especificações técnicas adequadas relacionadas aos tipos de janelas, aliado à racionalização abusiva dos sistemas de esquadrias, têm levado à implementação desse elemento de forma inadequada do ponto de vista do condicionamento térmico natural dos espaços interiores.

Essa inadequação dos sistemas de esquadrias utilizados, considerando o clima brasileiro e especialmente a produção arquitetônica mais recente ocasiona, entre outros, problemas de aquecimento excessivo no verão e resfriamento demasiado no inverno. A concepção projetual e o uso de energia no ambiente construído estão diretamente relacionados ao clima predominante da região e, conseqüentemente, seu impacto sobre o conforto térmico (WONG et al., 2012). A abordagem teórica pontuou alguns dos aspectos fundamentais para esta pesquisa na área de conforto térmico, ambientes ventilados naturalmente e de desempenho térmico da edificação que culminou nas seguintes considerações:

- As pesquisas desenvolvidas na década de 1900 sobre conforto térmico, pautadas na necessidade de salubridade dos ambientes de fábricas e minas, acompanham paralelamente a necessidade do homem em controlar e definir as condições térmicas do ambiente, por meio de aberturas que permitissem a vivência social e a higienização do ambiente, assim como controle dos componentes para manter a habitabilidade nos ambientes residenciais. A utilização de ações adaptativas para a melhoria do conforto

térmico culminou na definição de um modelo adaptativo de conforto utilizado por normativas internacionais e por diversos pesquisadores, na tentativa de definir edifícios com condições térmicas para um maior percentual de aceitabilidade de usuários. A ASHRAE 55 apresenta o modelo adaptativo com uma abordagem para edifícios ventilados naturalmente, e adaptável também para países de clima tropical, como o Brasil, porém é salientada por diversos pesquisadores a necessidade de estudos relacionados à aceitabilidade ao movimento do ar. Mesmo tendo as limitações mencionadas, o modelo será utilizado nesta pesquisa para a determinação das temperaturas operativas mensais, visto que os modelos propostos pelas outras normativas são específicos para uma região e definem condições que não se adequam as características climáticas do Brasil.

- O uso de condicionantes naturais é uma prática milenar e na atualidade sua utilização tornou-se acentuada pela crescente necessidade de diminuir e otimizar o consumo de energia. Ambientes ventilados naturalmente são considerados como uma solução que auxilia substancialmente na economia de energia, quando comparados a ambientes climatizados. Quando são adotados tipos de aberturas que possibilitam melhores condições térmicas, em relação às peculiaridades do local e o favorecimento de ambientes internos com maiores porcentagens de aceitabilidade pelos ocupantes, os níveis de eficiência e de redução no consumo energético tendem a se ampliarem.
- A intervenção das normativas brasileiras no setor construtivo demonstrou uma preocupação com a crise energética de 2001 e suas consequências. As pesquisas foram intensificadas e determinaram diretrizes construtivas e especificações de materiais de acordo com características climáticas, para melhorar o desempenho térmico do edifício, com ênfase na confortabilidade térmica do ocupante. As metodologias e os índices propostos pelas normas brasileiras são baseados nas temperaturas externa e na temperatura operativa, considerando o percentual de horas de desconforto ou de resfriamento para definir a classificação energética do edifício. A proposta desta pesquisa é avaliar o desempenho do edifício adotando índices de conforto térmico, baseado na metodologia definida por Sicurella, Evola e Wurtz (2012), analisando as alterações diárias das temperaturas operativas em relação ao uso de certos tipos de janelas. O uso dos índices permitiu visualizar detalhadamente a influência de modelos de janelas no desempenho térmico do ambiente, considerando o conforto térmico.



# 3

## PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO



### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO

A evolução da janela no decorrer da história da humanidade ocorreu, principalmente, da necessidade humana de apropriar-se das condicionantes naturais (ventilação e iluminação), como também da valorização na relação espaço interno *versus* externo. Como componente construtivo da envoltória, a janela, entre outros componentes, auxilia na obtenção das condições internas do ambiente. Nesse sentido, as propriedades físicas e térmicas dos materiais que a compõe, assim como a inserção de componentes operáveis, que permitem a controlabilidade das condições internas são elementos de grande importância quando se considera o conceito de conforto térmico passivo.

A definição da metodologia para avaliar o conforto térmico em ambiente interno de edificações multifamiliares direcionou, a pesquisa na busca de procedimentos que culminassem nos efetivos resultados esperados, buscando assim focar no desempenho térmico de ambientes ventilados naturalmente com o uso de diferentes tipos de janelas. Em síntese, os procedimentos metodológicos propostos compreenderam as seguintes etapas:

1. Caracterização do sítio;
2. Levantamento de campo;
3. Metodologia de avaliação do desempenho térmico do ambiente em edificações ventiladas naturalmente, com ênfase no conforto térmico; e
4. Configurações dos modelos.

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DO SÍTIO

O Brasil é o país com maior dimensão territorial da América do Sul e o quinto maior país em extensão territorial do mundo. A área de superfície do Brasil é de 8.574 km<sup>2</sup> e mede 4.345 km do ponto mais distante ao Norte ao ponto mais distante ao Sul e 4.330 km de Leste a Oeste. Baseado na classificação climática de Köppen, no Brasil há 06 tipos diferentes de clima (Figura 24) equatorial, tropical, semi-árido, subtropical, tropical litorâneo e tropical de altitude (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Figura 24: Clima do Brasil



Fonte: Adaptado de Lambert, Dutra e Pereira (2014).

Adotou-se como recorte, a região que compreende o clima tropical litorâneo que abrange grande parte do litoral brasileiro, desde o Rio Grande do Norte até o estado de São Paulo. Este clima é caracterizado por temperaturas médias entre 18°C a 26°C e com alto índice pluviométrico (1.200mm/ano), concentrado na estação de verão, nas regiões mais ao sul e nas estações do inverno e outono, nas regiões de latitudes mais baixas, próximas ao Equador (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Para levantamento e estudos da influência dos diferentes modelos de janelas no desempenho térmico dos ambientes das edificações multifamiliares, foi definida a cidade de Vitória, considerando a facilidade para a pesquisa de campo e por estudos anteriores demonstrarem o potencial de uso da ventilação natural como estratégia de conforto (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Vitória está localizada na região sudeste do Brasil (20°19'09"S e 40°20'50"W) e faz parte da região com maior desenvolvimento urbano do estado do Espírito Santo, denominada Região Metropolitana da Grande Vitória (Figura 25).

As condições de velocidade e direção do vento foram representadas nos Gráfico 5 (a e b), observando-se que os resultados enfatizaram a predominância do vento no quadrante NE com velocidade entre 6 – 7 m/s, o que, conforme Lamberts, Dutra e Pereira (2014) possibilita o uso da ventilação natural como recurso para amenizar o desconforto térmico, principalmente nos meses mais quentes.

Figura 25: (a) - Localização da cidade de Vitória e (b) - Imagem aérea da cidade de Vitória



(a)

Fonte: Prefeitura de Vitória.  
Acesso em: 08 set. 2013.



(b)

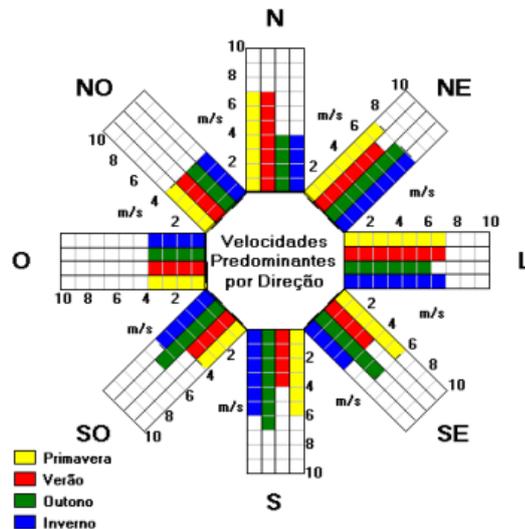
Fonte: Ecoviagem Turismo fácil e interativo.  
Acesso em: 10 out. 2014.

A região possui um aumento da frequência de velocidade dos ventos no período vespertino, onde os valores são mais elevados, coincidindo com o período em que as temperaturas do ar, também são mais elevadas e a necessidade de movimento do ar no ambiente interno é importante para o conforto térmico (BITTENCOURT, 1993, BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2006).

Gráfico 5: Frequência de ocorrência e direção dos ventos, para a cidade de Vitória. a) Direção e velocidade do vento; b) Frequência da velocidade do vento

(continua)

a)



Velocidades predominantes :

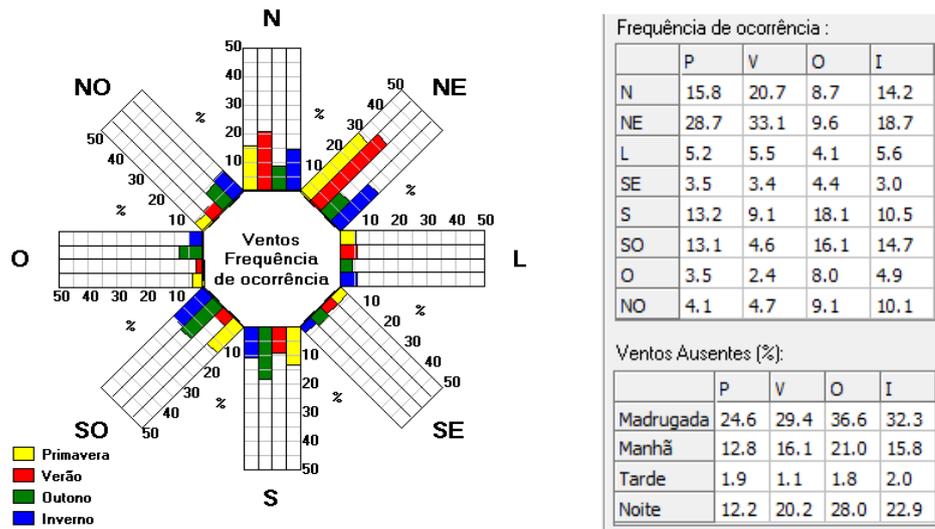
	P	V	O	I
N	7	7	4	4
NE	7	6	7	7
L	7	7	6	7
SE	6	4	6	4
S	6	4	7	6
SO	4	4	6	5
O	4	4	4	4
NO	4	4	4	4

Ventos Ausentes (%):

	P	V	O	I
Madrugada	24.6	29.4	36.6	32.3
Manhã	12.8	16.1	21.0	15.8
Tarde	1.9	1.1	1.8	2.0
Noite	12.2	20.2	28.0	22.9

(conclusão)

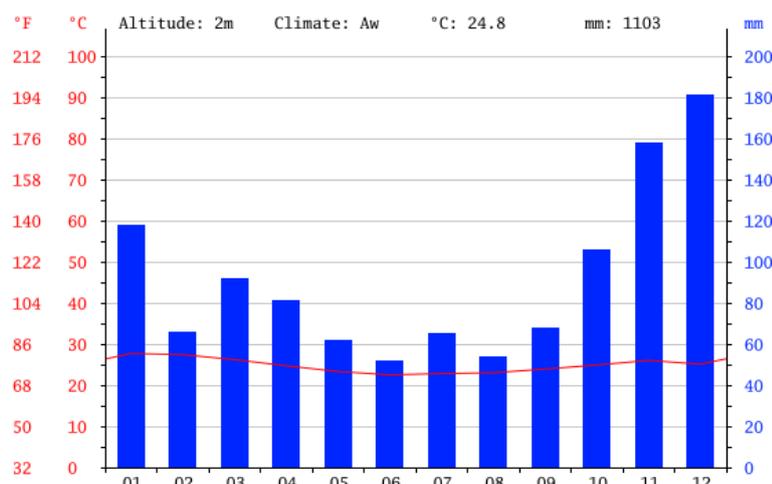
b)



Fonte: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Acesso em: 10 nov. 2014.

As variações das temperaturas médias externas observadas no Gráfico 6 demonstraram uma temperatura média de 27,7°C para o mês de janeiro e de 22,5°C, para o mês de junho.

Gráfico 6: Variações da temperatura externa em Vitória



Fonte: Climate-data-org. Acesso em: 10 nov. 2014.

### 3.2 LEVANTAMENTO DE CAMPO

O método proposto adota um modelo de pesquisa embasado em observação dos fatos, definida por Marconi e Lakatos (2003), como pesquisa de observação direta intensiva, onde se utiliza os sentidos na obtenção de determinados aspectos da realidade, sendo a observação sistemática o elemento fundamental na investigação.

O modelo de pesquisa utilizando a observação objetivou quantificar e caracterizar os tipos de janelas utilizados nas edificações multifamiliares em Vitória, priorizando as edificações em uso, de bairros com potencial de crescimento imobiliário. A escolha considerando o fator

mencionado foi motivada, especialmente por apresentarem soluções arquitetônicas antigas atuais e tendências para futuras edificações.

Para Gil (2008) e Volpato (2011) esse modelo é definido como pesquisa descritiva e teve como foco principal a descrição das características de determinada população, fenômeno ou estudos nas relações entre duas ou mais variáveis. Para Gil (2002) há diversas pesquisas com esta classificação sendo uma de suas características principais, a utilização de técnicas padronizadas de coleta de dados, tais como, questionário e observação sistemática.

A utilização do levantamento de campo teve como fator principal a determinação e caracterização dos tipos de janelas que são utilizadas nas edificações multifamiliares, determinando o modelo mais usual e utilizando-o como referência em estudo comparativo com outro tipo de janela, para definir as condições de desempenho térmico em ambientes internos, priorizando o conforto térmico.

### 3.2.1 Área amostral

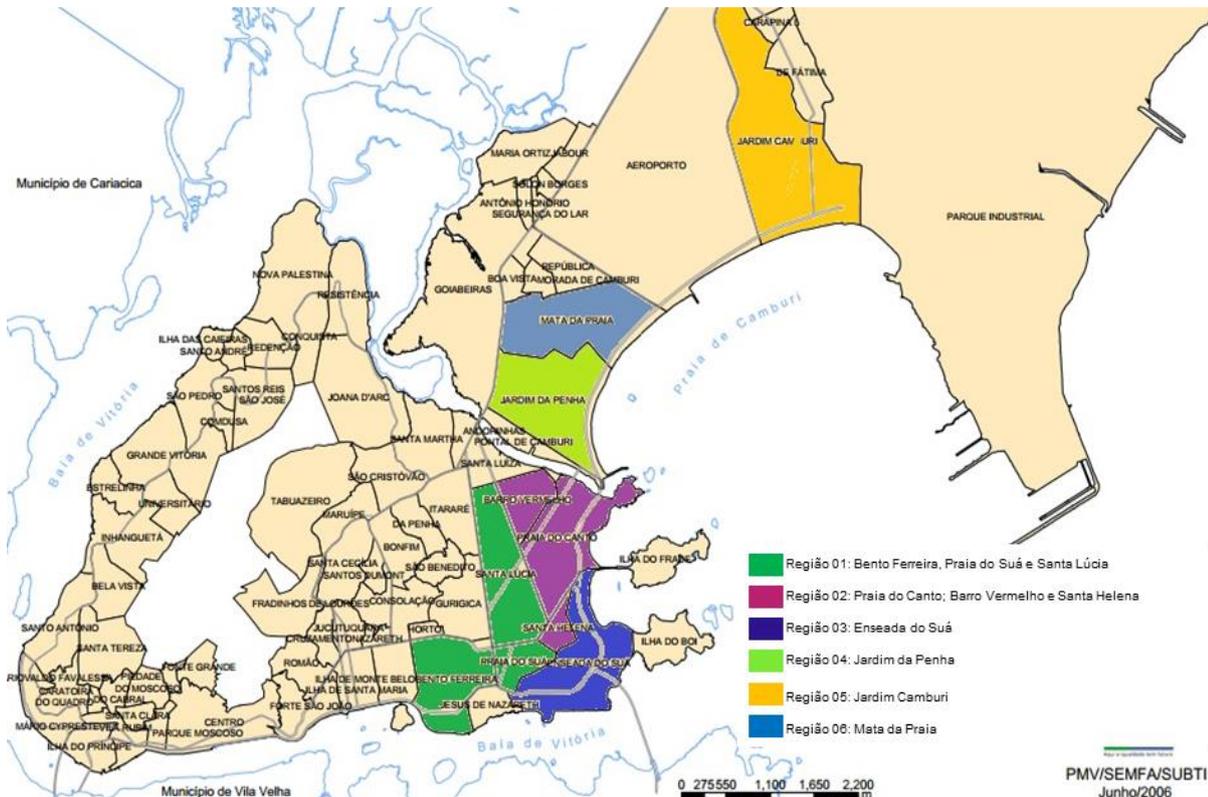
A cidade de Vitória possui 79 bairros e adotou-se como parâmetro de definição da área para o levantamento dos diferentes tipos de janelas, os seguintes critérios:

- (I) locais com crescimento na área da construção civil;
- (II) áreas com adensamento habitacional multifamiliar; e
- (III) áreas com registros estatísticos de crescimento e investimento no setor habitacional.

Considerando os critérios estabelecidos, a área amostral teve como parâmetro de escolha a divisão territorial, definida pelo SINDUSCON-ES, para a realização semestral do Censo Imobiliário (SINDICATO..., 2012), destacando que o resultado do censo, demonstra regiões com potencial para investimento no setor imobiliário. Os bairros que integram as regiões abrangidas pelo censo são (Figura 26):

- Região 01: Bento Ferreira, Praia do Suá, e Santa Lúcia;
- Região 02: Praia do Canto, Barro Vermelho, e Santa Helena;
- Região 03: Enseada do Suá;
- Região 04: Jardim da Penha;
- Região 05: Jardim Camburi; e
- Região 06: Mata da Praia.

Figura 26: Bairros da cidade de Vitória com destaque para os bairros selecionados para o estudo de campo



Fonte: Prefeitura Municipal de Vitória. Acesso em: 8 set. 2013.

### 3.2.2 Procedimentos para coleta de dados

A observação sistemática dos fatos para a obtenção dos dados exige a descrição precisa dos fenômenos, sendo necessária a elaboração prévia de um plano de observação (GIL, 2008). Neste tipo de procedimento é importante a definição do que observar, como registrar e organizar as informações.

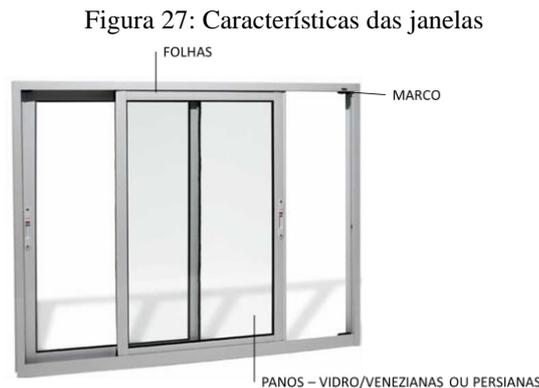
Para a coleta dos dados utilizou-se um mapa da região delimitada e um quadro inicial com o registro dos tipos e as características das janelas classificadas como as mais comercializadas em Vitória por Nico-Rodrigues (2008). No decorrer da coleta de dados, o quadro foi atualizado (Quadro 6), sendo também utilizados registros fotográficos e descritivos para a necessária memória de campo.

Quadro 6: Planilha de registro fotográfico, descritivo e quantitativo dos tipos de janela utilizado na pesquisa de campo

<b>REGIÃO – BAIRRO:</b>			
<b>TIPO DE JANELA – IMAGEM</b>	<b>MODELO</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>QUANTIDADE</b>
	A1	Alumínio natural/vidro incolor	
	A2	Alumínio branco/vidro incolor	
	A3	Alumínio branco/vidro verde	
	A4	Alumínio preto/vidro fumê	
	A5	Alumínio bronze/vidro fumê	

Fonte: Adaptado a partir de Nico-Rodrigues (2008).

Para a caracterização das janelas foram observados o sistema de abertura, o modelo e o tipo de material (do marco e do pano). Ressalta-se que o elemento janela considerado (Figura 27) é composto por: marco, formado por montantes e travessas; folhas, que consistem na parte fixa ou móvel da janela onde são fixados os panos; e os panos, que são os elementos destinados à vedação, geralmente constituídas por vidros, venezianas, persianas e outros (ASSOCIAÇÃO..., 1989).



Fonte: Associação..., (1989).

Para registro das características considerou-se somente a janela localizada no dormitório, selecionado por ser um ambiente de longa permanência (PREFEITURA MUNICIPAL DE VITÓRIA, 1998), cuja condição de habitabilidade sugere maior rigor quando comparado a outros ambientes da edificação. Foram observadas as janelas em todos os edifícios multifamiliares em uso, localizados na área amostral definida.

### 3.2.3 Representação e Avaliação dos resultados

Para a representação dos dados obtidos foram produzidos gráficos que registraram os percentuais de cada tipo de janela. A caracterização das mesmas foi efetuada com o uso de um quadro com a descrição dos componentes, do sistema de abertura e do demonstrativo fotográfico do modelo.

Para a interpretação dos resultados foram considerados todos os tipos de janelas observando as características descritas e os modelos associados. A análise possibilitou determinar os materiais do marco e dos panos, os sistemas de aberturas, assim como o modelo de janela mais usual nas edificações multifamiliares.

Considerando a proposta da pesquisa, o tipo de janela mais usual foi escolhido como modelo de referência visando, principalmente, a avaliação de desempenho para posterior

desenvolvimento de novo modelo de janela, considerando a supressão dos problemas identificados, objetivando melhores condições de desempenho térmico.

### 3.3 METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO

A pesquisa propõe um método de avaliação de desempenho que analisa comparativamente o modelo de janela mais usual nas edificações multifamiliares, com características dos modelos de janelas prescritos nas diretrizes bioclimáticas, tendo como fator principal de análise, a temperatura operativa horária e a temperatura de conforto. As temperaturas de conforto são definidas no gráfico de conforto adaptativo da ASHRAE 55 (AMERICAN..., 2004), descrito no capítulo 2, que utiliza a variação da temperatura média mensal externa e a porcentagem de aceitabilidade para a determinação dos valores máximos e mínimos da temperatura de conforto.

Ressalta-se que a cidade de Vitória possui elevadas temperaturas principalmente, nas estações do verão e da primavera, como descrito anteriormente, demonstrando a necessidade de ações para amenizar o desconforto proporcionado pelas condições climáticas nestes períodos. Para a pesquisa utilizou-se os valores máximos de temperatura de conforto de cada mês do ano.

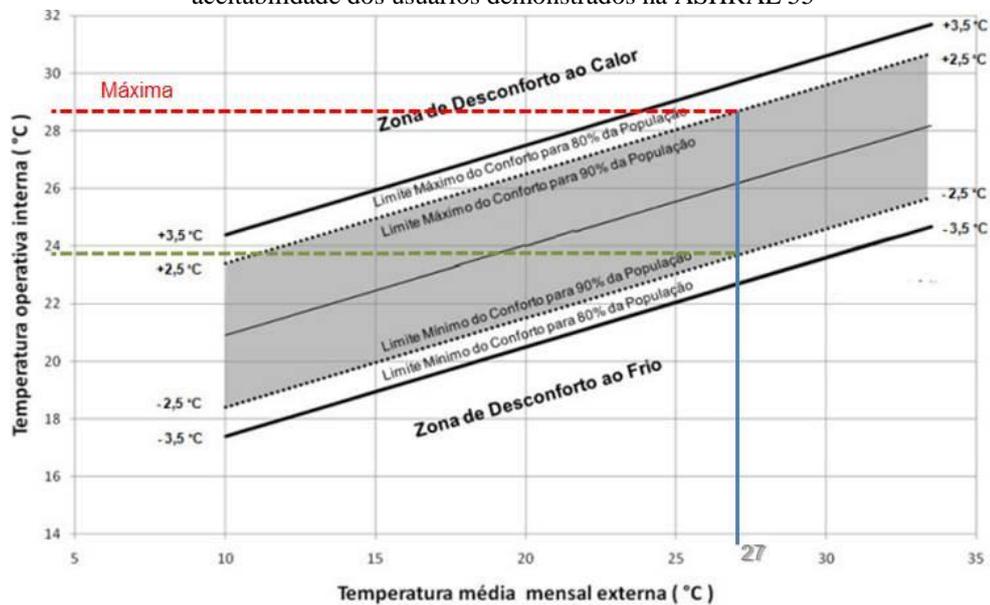
A análise dos resultados para a definição das condições de desempenho do ambiente, objetivando o conforto térmico, foi pautada no quantitativo de desconforto térmico que cada modelo de janela determinou nos meses do ano. Segundo Lambert, Dutra e Pereira (2014), as condições climáticas para Vitória, de acordo com a carta bioclimática, definem 82% das horas do ano para o desconforto, sendo 65% para o calor e 18% para o frio.

Para a análise das condições climáticas de Vitória foi adotado o arquivo climático TRY (*Test Reference Year*) referente ao período de 2000 a 2010 (LABORATÓRIO..., 2012) que determinou os valores das temperaturas médias mensais externas, sendo adotadas com temperaturas médias mensais do solo. Este procedimento utilizou o simulador *DesignBuilder* versão 3.1.0.068 Beta - DBSIM (DESIGN BUILDER SOFTWARE LTDA, 2012) que adota o algoritmo do *Energy Plus v7* e simulam sistemas de aquecimento e resfriamento, desempenho termo-energético, recomendado pelo Procel (BRASIL, 2013) para modelagem de edifícios. O programa, segundo Crawley et al., (2001) associa as vantagens de uma interface gráfica intuitiva e acessível aos profissionais de áreas afins.

Os dados de temperatura médias mensais externas obtidas das simulações foram inseridos no gráfico de conforto adaptativo, obtendo-se o intervalo de temperatura de conforto para o mês em questão, considerando 90% de aceitabilidade (Figura 28). O percentual definido determina

temperaturas de conforto com valores mais baixos, em relação à aceitabilidade de 80%, demonstrando uma preocupação maior com a decisão projetual e sendo um condicionante para a obtenção de um padrão mais elevado de conforto térmico (AMERICAN..., 2004).

Figura 28: Exemplo da obtenção dos limites de temperatura de conforto, de acordo com os índices de aceitabilidade dos usuários demonstrados na ASHRAE 55



Fonte: Adaptado da ASHRAE 55 (AMERICAN..., 2004).

O gráfico de conforto adaptativo é definido pela Fórmula (1), onde a temperatura neutra ( $T_n$ ) é o resultado do produto entre a temperatura externa ( $T_e$ ) e o fator multiplicador (0,31), somado ao valor 17,8. Ressalta-se que para a determinação da temperatura de conforto máxima é necessário acrescentar ao valor da temperatura neutra, obtida pela Fórmula (1), o valor de tolerância ao calor de + 2,5, referente ao percentual de 90% para a aceitabilidade.

$$T_n = 0,31(T_e) + 17,8$$

Fórmula (1)

Onde:

$T_n$  = temperatura neutra

$T_e$  = temperatura externa

Considerando as temperaturas de conforto entre os valores máximo e mínimo, é possível, segundo Roaf, Fuentes e Thomas (2006), à utilização da ventilação como meio para o resfriamento do ambiente, condicionado ao limite máximo da temperatura externa em 35°C e que o uso da ventilação pode ser uma condicionante indesejável, quando a temperatura externa assume valores superiores a 34°C, demonstrado por Harris J. Bowen em 1981 e descritos em Bittencourt e Cândido (2006). O valor máximo de temperatura externa, para

considerar os intervalos de aceitabilidade do gráfico da ASHRAE 55 é de 33,5°C, como mencionado no capítulo 2.

Para atender as condições mencionadas, foram adotados procedimentos estatísticos definindo uma amostra com dias válidos para a análise. Considerou-se um modelo normal fundamentado em probabilidade e inferência estatística por meio dos valores de temperatura média do ar externo de todos os dias do ano, e compilados para a análise por estações climáticas (verão, outono, inverno e primavera), visto ser coerente com as características climáticas que cada período determina e influencia no desempenho da edificação.

Este modelo adotado para a determinação dos dias em que a ventilação natural é utilizada como condicionante para o resfriamento do ambiente é fundamentado no Teorema Central de Limites, onde uma amostra tende ao infinito, ou seja, um valor alto para os erros da estimativa, a variável tende a ter uma distribuição normal (SILVA, 1998).

Sendo assim, foi efetuado o intervalo de confiança supondo a normalidade de erros e optou-se por 99% de confiabilidade para a temperatura média de cada dia da estação do ano, sendo que os valores fora do intervalo foram considerados *outliers*<sup>6</sup>, definindo assim, os dias válidos para análise.

Para a avaliação das temperaturas operativas dos dias definidos no intervalo de confiança, foram utilizados índices que possibilitaram analisar as alterações da temperatura durante as 24 horas do dia e a partir do diagnóstico do comportamento térmico do ambiente foi possível propor alternativas de modelos de janelas visando à melhoria das condições internas dos ambientes.

### 3.3.1 Índices de conforto térmico

A metodologia de avaliação de desempenho dos ambientes ventilados naturalmente em edificações residenciais multifamiliares, considera o desconforto térmico ocasionado por tipos de janelas. Para a análise dos resultados oriundos das simulações definiu-se, a partir dos conceitos abordados por Sicurella, Wurtz e Evola (2012) mencionados no capítulo 2, índices de conforto térmico adequados aos objetivos pretendidos, assim como ao tempo definido para alcançá-los.

---

<sup>6</sup> Outliers – denominado de valor aberrante ou valor atípico, é uma observação que apresenta um grande afastamento das demais da série (que está “fora” dela) (SILVA, 1998).

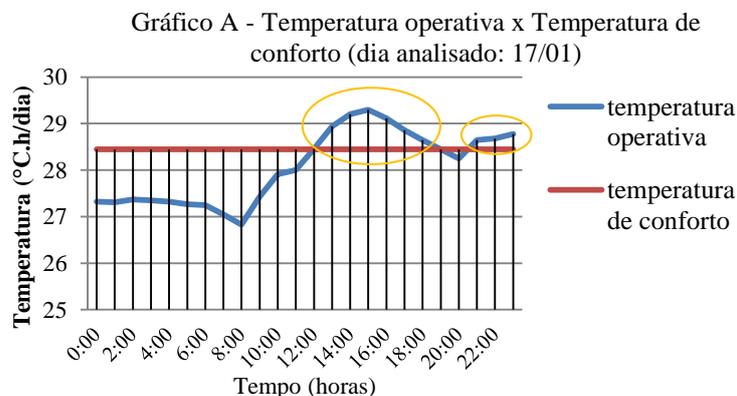
Os índices propostos foram a FDT e o GhDT que permitiram o comparativo do desempenho térmico do ambiente com diferentes modelos de janelas, possibilitando o posterior desenvolvimento das interferências necessárias nos modelos de janelas, para a melhoria das condições de habitabilidade das soluções identificadas como deficientes.

#### FDT - FREQUÊNCIA DE DESCONFORTO TÉRMICO

A FDT equivale ao percentual de tempo, hora inteira, em que a temperatura operativa está acima do valor máximo de temperatura de conforto. Esse indicador quantifica as horas em desconforto na unidade de porcentagem, durante um determinado intervalo de tempo e o valor máximo, remete ao limite máximo do período. Nesta pesquisa, a proposta foi de analisar períodos diários, ou seja, 24 horas, correspondendo à frequência máxima de 100%.

A FDT demonstra a frequência de desconforto durante um período, para configurações, orientações e diferentes localizações de componentes construtivos, objetivando avaliar a eficácia das alternativas construtivas (SICURELLA; WURTZ; EVOLA, 2012). Este índice é mencionado na norma Europeia EN 15.251 (EUROPEAN..., 2007) alicerçada no conceito de conforto adaptativo e também no RTQ-C (BRASIL, 2012a), pelo índice POC, com conceito análogo ao do FDT (Figura 29).

Figura 29: Demonstrativo da obtenção do FDT diário



Para a definição do percentual de horas de desconforto, temos 24 horas = 100% e cada hora do dia = 4,17%. No exemplo demonstrado no Gráfico A, as horas que tiveram os valores da temperatura operativa maior do que a temperatura de conforto foi de 9 períodos e correspondeu a 37,5% das horas em desconforto térmico no dia em questão.

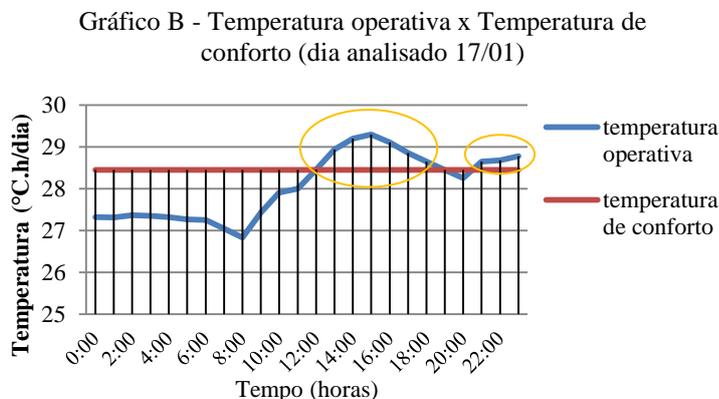
#### GhDT - GRAUS HORAS DE DESCONFORTO TÉRMICO

O GhDT é determinado pela diferença entre a temperatura operativa horária e a temperatura de conforto, quando a temperatura operativa ultrapassa o valor definido da temperatura de conforto, estabelecida para o mês em estudo.

Este índice auxilia na verificação das estratégias adotadas em relação ao desempenho térmico do ambiente, considerando que sua unidade está relacionada à temperatura e ao tempo. É

mencionado na ABNT/CEE 191 (ASSOCIAÇÃO..., 2014) e no RTQ-R (BRASIL, 2010), definido pelo índice de graus horas para resfriamento (Figura 30).

Figura 30: Demonstrativo da obtenção do GhDT diário



Para determinar o quantitativo de graus horas de desconforto, consideram-se as diferenças entre a temperatura operativa em cada hora inteira e a temperatura de conforto do mês em análise. O resultado é o somatório de cada hora.

No exemplo demonstrado no gráfico B, observou-se que a temperatura operativa foi maior do que a temperatura de conforto entre o período de 12h00 a 19h00 e de 21h00 a 23h00 resultando em 4,13°C.h/dia de diferenças entre as temperaturas.

O valor máximo de referência adotado é resultante das simulações com o modelo de janela usual, obtido no levantamento de campo, definindo-se o maior valor de GhDT para cada estação do ano, considerando todas as características do modelo e as condições climáticas.

### 3.3.2 Representação dos resultados da avaliação de desempenho

Para a interpretação dos resultados referentes aos valores da temperatura operativa diária obtida nas simulações dos modelos, foram realizados procedimentos estatísticos quantificando e apresentando-os na forma de °C.hora/dia e em porcentagem total de horas.

Os procedimentos utilizados conduziram para a obtenção dos seguintes resultados:

- O somatório diário das diferenças entre as temperaturas operativas horárias e a temperatura de conforto mensal para cada dia determinado pelo intervalo de confiança. Estes valores definiram os GhDT de cada dia, sendo possível a avaliação do quantitativo de GhDT mensal, por pavimento, por orientação e por estação do ano;
- O somatório dos percentuais de horas para a definição do FDT efetuado, considerando o período de um dia (24 horas) como o percentual máximo (100%). Foram observadas em quantas horas do dia a temperatura operativa horária esteve acima da temperatura de conforto, determinando assim o percentual de FDT no dia. Também foi possível representar o FDT em quantitativo de horas em desconforto, fazendo uma relação com o quantitativo total de horas do período em análise.

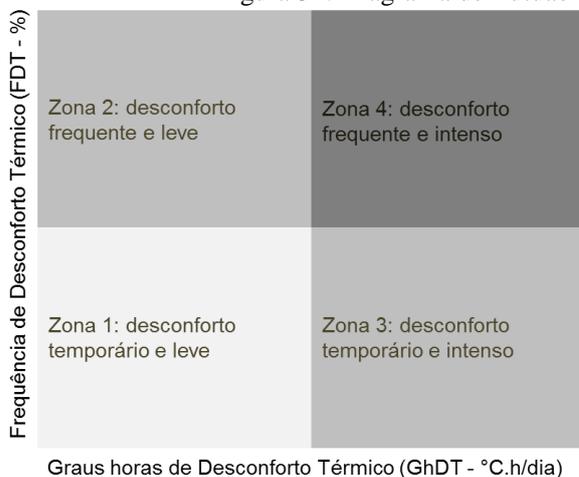
Os resultados dos índices GhDT e FDT identificaram as condições internas dos ambientes considerando as alterações dos tipos de janelas relacionados, a altura de cada pavimento e a orientação da janela, principalmente quando analisados em um mesmo gráfico.

#### DIAGRAMA DE FLUTUABILIDADE

Adotou-se para a análise conjunta dos índices, o diagrama que demonstrou a flutuabilidade dos dias analisados em cada estação do ano. O diagrama (Figura 31) propôs uma combinação dos índices FDT e GhDT que facilitou a avaliação e individualizou as melhorias de alguns parâmetros adotados como solução.

Considerou como referência para a definição dos níveis de conforto térmico, os valores inicial, médios e máximos de FDT e de GhDT, determinando zonas com níveis de conforto para o usuário (SICURELLA; WURTZ; EVOLA, 2012) . A avaliação no diagrama para a frequência é de dois níveis: temporário e frequente; e para a condição de intensidade do grau hora, os níveis são leve e intenso. O diagrama proporcionou uma definição para estratégias de melhoramento na edificação, com o uso da ventilação natural como veículo para diminuir os valores de temperatura operativa no ambiente, tendo o elemento variável, tipos de janelas.

Figura 31: Diagrama de flutuabilidade dos indicadores FDT e GhDT



O diagrama permite avaliar comparativamente soluções diferentes para amenizar o desconforto térmico, analisando os resultados por zonas de concentração do período em estudo ou de forma geral.

Fonte: Adaptado de Sicurella, Evola e Wurtz (2012).

### 3.3.3 Avaliação dos resultados

Avaliou-se os resultados por estações do ano considerando os andares e as orientações, que possibilitou verificar as condições térmicas internas definidas para todos os modelos de janelas simulados.

Para cada modelo adotou-se a avaliação dos níveis de flutuabilidade, definindo as sensações de desconforto considerando todos os pavimentos e todas as orientações. Para a análise do

desempenho por orientações, avaliou-se cada modelo separadamente e sua flutuabilidade em cada orientação. Com o objetivo de verificar o quantitativo de horas em desconforto e a quantidade de graus horas que ultrapassaram o limite de temperatura de conforto, foram efetuados somatórios por orientação, considerando as estações do ano.

Os resultados dos índices possibilitaram a avaliação da estação, do pavimento e da orientação mais desconfortáveis e com valores aceitáveis para a habitabilidade do ambiente interno, em relação ao tipo de janela.

### 3.4 CONFIGURAÇÕES DOS MODELOS

Ressalta-se que para a obtenção de dados válidos para a análise do desempenho térmico do ambiente, foi fundamental procedimentos que certificassem a confiabilidade dos dados, tanto para métodos de medição de campo, como para uso de simuladores.

A simulação é um processo de desenvolvimento de um modelo, na forma simplificada, de um sistema complexo, que analisa e prevê o comportamento do edifício real (ABURDENE, 1988).

A razão principal que responde a pergunta “por que simular?” é que os sistemas reais são difíceis e em alguns casos impossíveis de analisar em toda sua complexidade, não sendo possível fazê-los de forma fortuita. Adotar os elementos relevantes dos sistemas reais, em geral, torna possível desenvolver modelos que predizem o comportamento destes sistemas, com um grau aceitável de precisão (ABUDERNE, 1988).

A configuração adotada no *DesignBuilder* para a ventilação foi o modelo calculada, tendo a ventilação e as taxas de infiltração do fluxo calculadas com base nas dimensões das aberturas, coeficiente de descarga, operação das janelas, na velocidade corrigida e na flutuabilidade das pressões do vento. A diferença de pressão foi obtida com base na orientação do vento, em relação às aberturas e ao coeficiente de pressão.

Foram utilizados como principais dados de entrada, os períodos de ocupação do ambiente, a operacionalização das aberturas, a materialidade da envoltória, as dimensões e os componentes das janelas. A partir dos resultados das simulações foram definidas as diretrizes para janelas em edificações residenciais multifamiliares em Vitória visando o melhor desempenho térmico para o conforto dos usuários.

### 3.4.1 Modelos de edifício e janelas

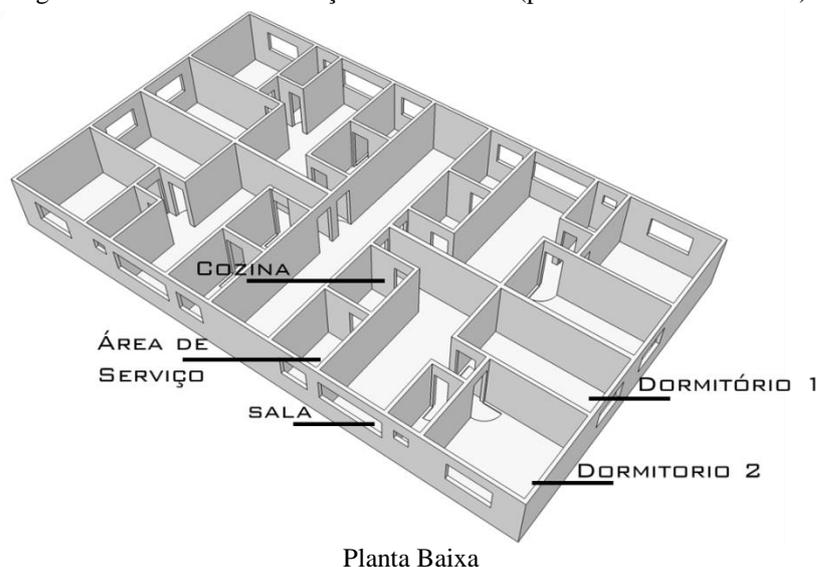
A tipologia arquitetônica adotada como modelo para simulação possui cinco pavimentos, sendo o térreo de pilotis e os apartamentos tipo constituídos de dois dormitórios e divididos espacialmente em sala de estar, cozinha, área de serviço e banheiro, com aproximadamente 70m<sup>2</sup>, destacando-se ser a tipologia mais comercializada na região, segundo o Censo Imobiliário (SINDICATO..., 2012).

Ressalta que no RTQ-R (BRASIL, 2012) foi definido um modelo de edificação para simulação com as mesmas características citadas, reiterando a escolha do modelo para esta investigação, bem como em pesquisa realizada por Sorgato, Versage e Lambert (2011a).

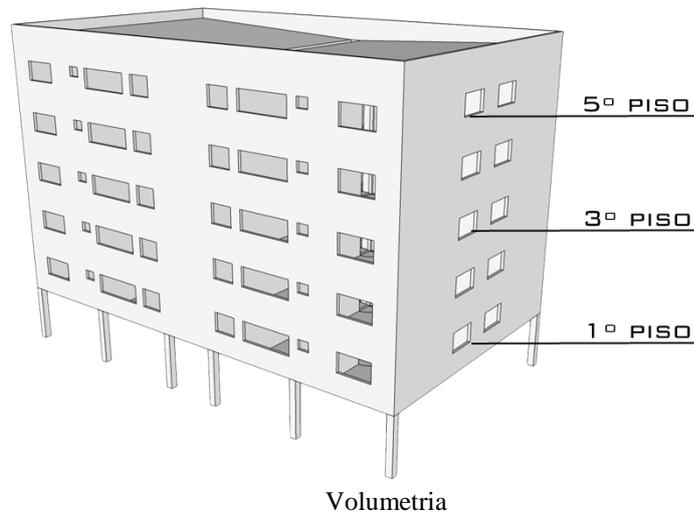
O modelo de edificação adotado tem quatro apartamentos por pavimento e cada unidade possui fachada voltada para duas orientações, sendo que todos os ambientes possuem aberturas para a área externa, com exceção do ambiente cozinha, que possui abertura para a área de serviço. O ambiente selecionado para avaliação foi o dormitório 1, por ser um ambiente de longa permanência (PREFEITURA..., 1989) sendo o mesmo ambiente observado no levantamento dos tipos de janelas utilizadas nas edificações multifamiliares em Vitória (Figura 32).

As simulações foram efetuadas para o 1º pavimento (sobre o piso do pilotis); para o 3º pavimento; e para o 5º pavimento, nas quatro orientações principais (Norte, Sul, Leste e Oeste), avaliando as alterações das condições internas do ambiente relacionadas ao conforto, quanto ao uso de diferentes tipos de janelas, para cada estação do ano.

Figura 32: Modelo de edificação multifamiliar (planta baixa e volumetria)



Planta Baixa



A definição de apenas uma parede exposta à radiação solar se justifica pela necessidade de redução dos elementos de interferência, considerando que o objeto de estudo é a influência do tipo de janela no desempenho térmico do ambiente. Assim, quanto menor a interferência das paredes e da cobertura na temperatura interna, mais precisa será a avaliação da influência da janela no desempenho do ambiente. Observa-se que a definição de diferentes pavimentos se justifica em função das diferentes condições de pressão do vento. No entanto, considerando que o elemento em análise é a janela e não o sistema construtivo optou-se por considerar o quinto pavimento, como um pavimento adicional superior, visando anular a influência térmica da cobertura.

Tal decisão foi motivada tanto pelo efeito da cobertura nos ambientes do último pavimento, identificados por Mallick (1996) e Indraganti (2010a) mencionado na abordagem teórica, como pelos resultados das simulações de teste terem demonstrado, de fato, uma grande interferência da cobertura, no desempenho térmico dos ambientes analisados no último pavimento. As diretrizes prescritas para a zona bioclimática 8, definida pela NBR 15.220-3 (ASSOCIAÇÃO..., 2005), determina a ventilação cruzada como condição para a habitabilidade e menciona a porta de acesso ao ambiente, como segundo elemento para permitir a circulação, considerando que também as frestas existentes possibilitam a circulação do ar, quando as mesmas estão fechadas.

Para a avaliação do desempenho térmico dos ambientes foram definidas as seguintes condições para algumas das variáveis das janelas que interferem nas condições internas do ambiente:

- O tamanho do vão, definido pela normativa municipal (PREFEITURA...,1989);

- O tipo de vidro, obtido pelo resultado do levantamento de campo; e
- O material do quadro e dos componentes condizendo com as condições de resistência a névoa salina, visto que a cidade é litorânea e possui localização insular.

Os modelos definidos para a avaliação corresponderam ao primeiro modelo com maior utilização nas edificações multifamiliares; o segundo modelo, com características estabelecidas a partir da NBR 15.220-3 (ASSOCIAÇÃO..., 2005) para a região bioclimática 8 onde está inserida a cidade de Vitória e das diretrizes estabelecidas na NBR 15.575 (ASSOCIAÇÃO..., 2013), dentro dos modelos observados no levantamento, e também, pelo resultado da pesquisa efetuada por Nico-Rodrigues (2008). Os resultados culminaram na definição de um terceiro modelo de janela objetivando melhorar as condições definidas pelo segundo modelo, bem como, definir as variáveis possíveis na determinação de novos modelos.

### 3.4.2 Parâmetros de simulação

Foram adotados os valores referenciais das propriedades térmicas da envoltória referente aos componentes construtivos utilizados nas edificações em Vitória, assim como as características da vestimenta, a atividade realizada pelo usuário para as condições climáticas da região e do tipo de uso do ambiente.

#### A - PAREDES

Para as paredes da envoltória foi definido o tijolo cerâmico de 8 furos, emboço/reboco e acabamento de pintura na cor clara na face interna e externa (Tabela 2).

Tabela 2: Detalhamento das camadas das paredes com as propriedades térmicas

<i>Detalhamento das camadas das paredes com as propriedades dos materiais</i>							
Alvenaria com tijolos de 8 furos quadrados (9 x 19 x 19 cm), emboço de 2,5 cm em ambas as faces							14 cm de espessura
Transmitância térmica da parede (U)							1,76 W/(m <sup>2</sup> .K)
Emissividade (ε) das paredes e piso							0,9
Absortância (α) das paredes e piso							0,3
<i>Propriedades térmicas dos materiais utilizados na alvenaria</i>							
	Camadas	Materiais	Espessura m	Condutib. w/m.k	Densidade kg/m <sup>3</sup>	Calor específico j/kg.k	Resistência térmica m <sup>2</sup> .k/w
Paredes internas e externas e = 14 cm	1 <sup>a</sup>	Argam. Emboço/reboco	0,025	1,15	2000	1000	-
	2 <sup>a</sup>	Cerâmica	0,01	0,9	1600	920	-
	3 <sup>a</sup>	Ar	0,03	-	-	-	0,16
	4 <sup>a</sup>	Cerâmica	0,01	0,9	1600	920	-
	5 <sup>a</sup>	Ar	0,03	-	-	-	0,16
	6 <sup>a</sup>	Cerâmica	0,01	0,9	1600	920	-
	7 <sup>a</sup>	Argam. Emboço/reboco	0,025	1,15	2000	1000	-

Fonte: Elaborado a partir da NBR 15.575-4 (ASSOCIAÇÃO..., 2013a).

## B - ABERTURAS – JANELAS E PORTAS

As dimensões das janelas seguem a NBR 15.575-4 que determina as diretrizes para a zona bioclimática 8, e a NBR 15.220-3, que prescreve um percentual de 8% da área de piso para abertura de ventilação. Nas Tabela 3 e Tabela 4 são demonstradas as características das aberturas e sua operacionalização.

A janela está localizada na parte mediana da parede com altura do peitoril de 1,10m. O outro elemento que propicia a ventilação cruzada é a porta, configurada com um percentual de tempo aberta de 50% das 24 horas do dia.

Tabela 3: Detalhamento das dimensões da abertura, a área destinada à ventilação e a operacionalização definida para cada modelo

<i>Características</i>	<i>Dimensões</i>
Área do ambiente (dormitório)	13,00 m <sup>2</sup>
Dimensões da janela	1,80m x 1,30m
Área da janela	2,34 m <sup>2</sup>
Área de ventilação MA	1,17 m <sup>2</sup>
Área de ventilação M01	1,17 m <sup>2</sup> e ventilação permanente através da folha com pano de veneziana e dispositivo de sombra
Área de ventilação M02	1,17 m <sup>2</sup> e ventilação permanente através da folha com pano de veneziana e com brise na vertical e dispositivos de sombra
<i>Modelos de Janelas</i>	<i>Controle das aberturas</i>
MA – Somente folhas com pano em vidro	08h00 – 21h00 = 100% janela aberta = 50% do vão 21h00 – 08h00= janela fechada = 0% da abertura fechamento dos 50% do vão com a folha de vidro
P1 e P2 – Folha com vidro	24 horas = 100% janela aberta = 50% do vão
Folha com veneziana	<b>08h00 – 21h00</b> 100% Janela aberta = 50% do vão – sobrepõe a folha com vidro <b>21h00 – 8h00</b> Janela fechada - 0% de abertura – fechamento dos 50% do vão com a folha de veneziana Obs.: o sistema de abertura de correr possibilita no máximo 50% de abertura do vão

Fonte: Elaborado a partir da NBR 15.575-4 (ASSOCIAÇÃO..., 2013a).

Tabela 4: Propriedades térmicas dos materiais que compõem a janela

Transmitância térmica do quadro e venezianas em alumínio (U)	5,88 W/(m <sup>2</sup> K)
Transmitância térmica do vidro 6mm incolor (U)	5,77 W/(m <sup>2</sup> K)

Fonte: Elaborado a partir da NBR 15.575-4 (ASSOCIAÇÃO..., 2013a).

## C - COBERTURA E LAJES

Foram consideradas para as lajes entre pavimentos e cobertura, materiais com grande utilização em edificações multifamiliares na região da cidade de Vitória, conforme Tabela 5.

Tabela 5: Propriedades térmicas das lajes e coberturas

	<i>Camadas</i>	<i>Materiais</i>	<i>Espessura m</i>	<i>Condutib. w/m.k</i>	<i>Densidade kg/m<sup>3</sup></i>	<i>Calor específico j/kg.k</i>	<i>Resistência térmica m<sup>2</sup>.k/w</i>
Laje entre pavtos e = 9,5 cm	1ª	Piso cerâmico	0,01	0,9	1600	920	-
	2ª	Contrapiso	0,025	1,15	2000	1000	-
	3ª	Laje de concreto	0,08	1,75	2200	1000	-
	4ª	Argamassa de reboco	0,025	1,15	2000	1000	-
Cobertura*	1ª	Telha de amianto	0,025	0,950	1800	840	-
	2ª	Ar	0,20	-	-	-	0,16
	3ª	Laje	0,10	1,75	2200	1000	-

\* Esta configuração foi utilizada somente nas simulações testes do modelo MA, que auxiliou na adoção de um pavimento adicional para a avaliação efetiva da influência da janela no desempenho térmico do ambiente.

Fonte: Elaborado a partir da NBR 15575-4 (ASSOCIAÇÃO..., 2013a).

#### D - PARÂMETROS HUMANOS E GANHOS TÉRMICOS POR EQUIPAMENTOS

Adotou-se o parâmetro de 80% do dia para a ocupação do dormitório 1 e de 37,50% do dia, para o uso de equipamentos. Para a iluminação artificial considerou-se lâmpadas fluorescentes para o período do final da tarde e início da noite, equivalendo a 20% do dia. No Tabela 6 seguem os horários de ocupação, de utilização e propriedades térmicas, assim como, as características das vestimentas, do metabolismo e as propriedades.

Tabela 6: Parâmetro de ocupação, características e ganhos térmicos dos equipamentos

<i>Ocupação</i>	<i>Uso</i>
Usuário	08h00 – 13h00 = 0% ocupado 13h00 – 22h00 = 50% ocupado 22h00 – 08h00 = 100% ocupado
<b><i>Parâmetros humanos</i></b>	
Vestimenta	Verão = 0,50 clo e Inverno = 1,0 clo
Metabolismo para atividade de leitura	115 W/pessoa
Padrão de ocupação	2 pessoas
<b><i>Ganhos térmicos dos equipamentos</i></b>	
Iluminação artificial - 17h00 – 22h00 = iluminação artificial	5 W/m <sup>2</sup>
Computadores - 13h00 – 22h00 = 1 computador	3,90 W/m <sup>2</sup>

Fonte: Elaborado a partir da NBR 15575-4 (ASSOCIAÇÃO..., 2013a).



# 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A organização dos resultados foi estruturada em três partes: a primeira com os resultados que caracterizaram os tipos de janelas utilizadas nas edificações multifamiliares em Vitória, considerando as regiões habitacionais de maior crescimento imobiliário; a segunda, com os resultados dos condicionantes relacionados às temperaturas e ao período de análise para utilização na metodologia adotada; a terceira, com os resultados obtidos nas simulações representados na forma de gráficos e diagramas que determinaram as condições internas do ambiente de acordo com cada modelo de janela simulado.

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS ELEMENTOS DAS JANELAS

Para a identificação dos modelos mais usuais de janelas em Vitória, foram observadas 1.999 unidades de edificações residenciais multifamiliares que categorizaram 23 tipos de janelas diferentes (Apêndice 1). As diferenças observadas referem-se apenas ao modelo de janela, sendo que cada modelo tem componentes distintos, tais como o material (alumínio, PVC ou madeira); a cor do vidro; a cor do alumínio; o sistema de abertura e a composição de folhas. A Figura 26 (capítulo 3), apresenta a localização dos bairros de cada região e a Tabela 7 sintetiza o quantitativo de modelos de janelas e de edificações multifamiliares existente em uso, como também o quantitativo de janelas diferentes observadas.

Tabela 7: Quantificação das janelas e tipos

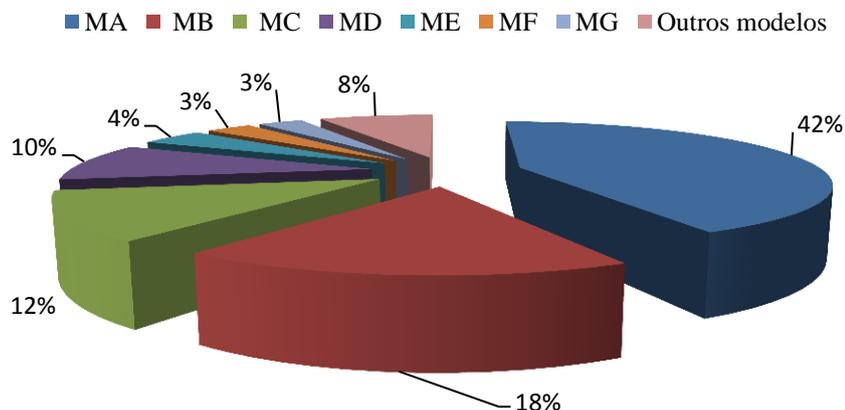
REGIÃO	01			02			03	04	05	06
BAIRRO	Bento Ferreira	Praia do Suá	Santa Lúcia	Praia do Canto	Praia de Santa Helena	Barro Vermelho	Enseada do Suá	Jardim da Penha	Jardim Camburi	Mata da Praia
QUANTIDADE DE JANELAS E EDIFÍCIOS	50	06	19	241	76	40	07	863	560	136
TIPOS	09	04	04	18	08	08	03	20	14	13

Para melhor identificação das diferentes janelas foram adotadas abreviações caracterizando cada modelo, como exemplo: Modelo A – MA; Modelo B – MB e assim para todos os outros modelos observados. O Gráfico 7 representa os percentuais de utilização dos 7 (sete) tipos de janelas com maior representatividade nas edificações observadas (MA; MB; MC; MD; ME; MF e MG), resultando em 91,85%. Os 8,15% restantes corresponderam aos outros 16 modelos (MH, MI, MJ, MM, e outros) que compuseram o total de 23 modelos diferentes constatadas no levantamento de campo e caracterizados no Gráfico 7 e no Quadro 7.

O resultado demonstrou que o tipo de janela mais utilizado nas edificações é o MA, constituída do material alumínio, caracterizado com marco simples (montantes e travessas) e duas folhas com panos em vidros no sistema de correr. Observou que, também com um

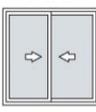
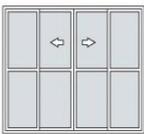
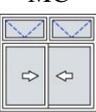
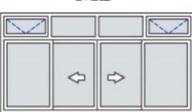
percentual representativo de edificações, o uso de portas-janelas nos dormitórios voltados para espaços avarandados e que a maioria opta pelo fechamento total da varanda, com vidros e ferragens e no sistema de abertura do tipo camarão.

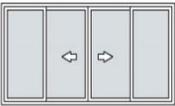
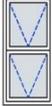
Gráfico 7: Percentuais de modelos de janelas encontradas nas edificações residenciais multifamiliares nos bairros de Vitória



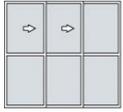
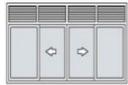
Quadro 7: Caracterização dos modelos de janela

(continua)

MODELO	CARACTERÍSTICAS
<p>MA</p> 	Marco com um caixilho, duas folhas com panos de vidro no sistema de correr
<p>MB</p> 	Porta-janela com um caixilho, duas folhas com travessas e panos de vidro no sistema de correr e duas folhas com panos de vidro no sistema fixo
<p>MC</p> 	Marco com dois caixilhos, um com duas folhas e panos de vidro no sistema de correr e o outro superior, com panos de vidro no sistema maxim-ar
<p>MD</p> 	Marco com dois caixilhos, um com quatro folhas, sendo duas móveis e duas fixas, com panos de vidro no sistema de correr e o outro superior, com panos de vidro, sendo dois no sistema maxim-ar e dois fixos
<p>ME</p> 	Marco com dois caixilhos, um com duas folhas e panos de vidro no sistema de correr e o outro inferior, com panos de vidro fixo

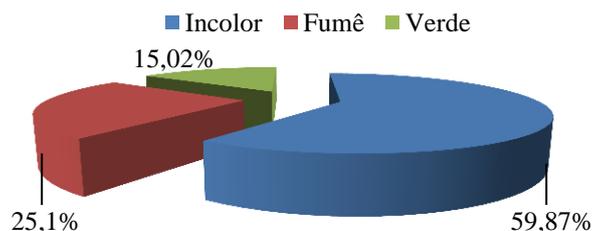
(continuação)	
<b>MF</b> 	<p>Marco com um caixilho, quatro folhas com panos de vidro, sendo duas fixas e duas móveis no sistema de correr</p>
<b>MG</b> 	<p>Marco com dois caixilhos, um com duas folhas e panos de vidro no sistema de correr e o outro superior, com panos de vidro fixo</p>
<b>MH</b> 	<p>Marco com um caixilho, três folhas, uma com pano de vidro, uma com pano de veneziana vazante e uma com pano de veneziana estanque no sistema de correr</p>
<b>MI</b> 	<p>Marco com dois caixilhos, um com uma folha e pano de vidro no sistema maxim-ar e o outro inferior com pano de vidro fixo</p>
<b>MJ</b> 	<p>Marco com três caixilhos, um com duas folhas e panos de vidro no sistema de correr, e os outros dois localizados na parte inferior e superior, com panos de vidro fixo</p>
<b>MK</b> 	<p>Marco com três caixilhos, um com quatro folhas e panos de vidro, sendo duas fixas e duas móveis no sistema de correr, e os outros dois localizados na parte inferior e superior, com panos de vidro fixo</p>
<b>MM</b> 	<p>Esquadria em madeira. Marco com três caixilhos, um com quatro folhas e panos em vidro, sendo dois fixos e dois móveis no sistema de correr, outro inferior com panos de vidro fixo e outro superior com panos em veneziana</p>
<b>MN</b> 	<p>Marco com três caixilhos, um com uma folha e pano de vidro no sistema maxim-ar, e os outros dois localizados na parte inferior e superior, com panos de vidro fixo</p>
<b>MP</b> 	<p>Marco com dois caixilhos, cada um com uma folha e pano de vidro no sistema maxim-ar</p>
<b>MQ</b> 	<p>Marco com um caixilho, três folhas, sendo duas móveis e uma fixa com panos de vidro no sistema de correr</p>

(conclusão)

<p>MR</p> 	<p>Marco com dois caixilhos, um com quatro folhas com panos de vidro, sendo duas fixas e duas móveis, no sistema de correr e o outro inferior, com panos de vidro fixo</p>
<p>MS</p> 	<p>Marco com dois caixilhos, um com três folhas, sendo duas móveis e uma fixa com panos de vidro no sistema de correr e outro inferior com panos de vidro fixo</p>
<p>MT</p> 	<p>Marco com dois caixilhos, um com quatro folhas com panos de vidro, sendo duas fixas e duas móveis, no sistema de correr e o outro superior, com panos de veneziana</p>
<p>MU</p> 	<p>Marco com três caixilhos, um com quatro folhas com panos de vidro, sendo duas fixas e duas móveis no sistema de correr e um localizado na parte inferior com panos de vidro fixo e o outro na parte superior com panos de vidro sendo dois no sistema maxim-ar e dois fixos</p>
<p>MV</p> 	<p>Marco com dois caixilhos, um com duas folhas e panos de vidro no sistema de correr e o outro com persiana no sistema de abertura projetante</p>
<p>MX</p> 	<p>Marco com um caixilho, duas folhas com panos de vidro no sistema de guilhotina</p>
<p>MZ</p> 	<p>Marco com três caixilhos, um com duas folhas e panos de vidro no sistema de correr, e os outros dois localizados nas laterais, com panos de veneziana</p>
<p>MY</p> 	<p>Marco com dois caixilhos, um com quatro folhas com panos de vidro, sendo duas fixas e duas móveis, no sistema de correr e o outro inferior, com dois panos de vidro fixo e dois panos no sistema maxim-ar</p>

Em relação aos tipos de vidros foi observado que as cores do vidro mais utilizados nas esquadrias foram o incolor, o fumê e o verde, conforme demonstrado no Gráfico 8.

Gráfico 8: Cores de vidro observado nas janelas



A predominância do material dos quadros e folhas foi o alumínio, que está relacionado, entre outros fatores, ao custo, facilidade de manutenção, durabilidade e a adequabilidade em relação à concepção volumétrica das tipologias arquitetônicas. Ressalta-se que Vitória é uma ilha e que sua proximidade com o mar induz a utilização de materiais com maior resistência à névoa salina. Também observou-se o uso do PVC e da madeira para os caixilhos das janelas (Gráfico 9).

Constatou-se que a cor de alumínio mais utilizado é o natural, porém foi observado que outras cores como branco, preto, verde e vinho são utilizadas (Gráfico 10).

Gráfico 9: Tipos de materiais observados nos modelos de janelas

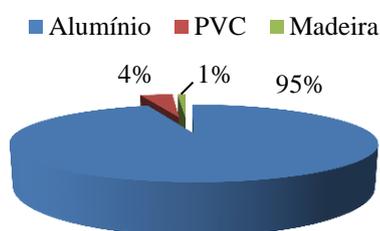
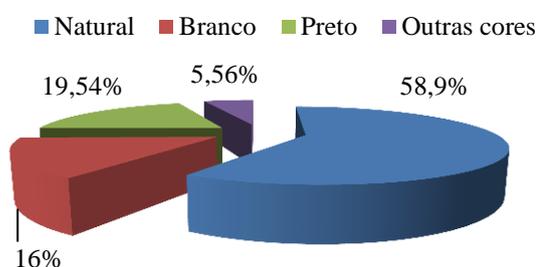
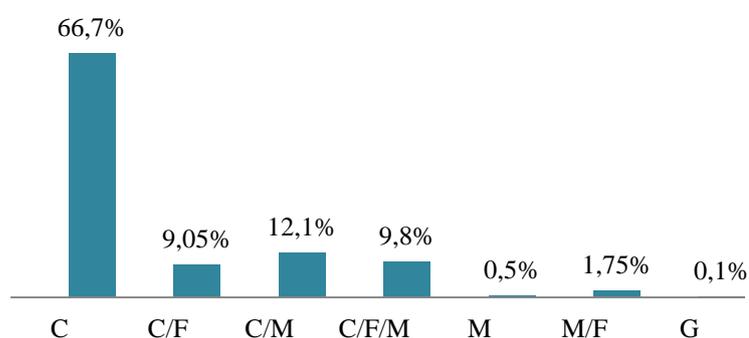


Gráfico 10: Cores do alumínio observadas nos modelos de janelas



Os sistemas de aberturas registrados no levantamento (Gráfico 11) foram de correr (C), correr/fixo (C/F), correr/maxim-ar (C/M), correr/fixo/maxim-ar (C/F/M), maxim-ar (M), maxim-ar/fixo (M/F), guilhotina (G). Estes sistemas foram observados separadamente ou em combinações de caixilhos, possibilitando alternância na abertura de acordo com a necessidade de condição térmica do ocupante.

Gráfico 11: Sistemas de aberturas mais utilizados nas janelas



O levantamento de campo também demonstrou que o tipo de janela é característico de um momento histórico como mencionado no capítulo 2, sendo assim, algumas particularidades foram observadas nos bairros que compuseram as regiões observadas, como características das edificações e das tipologias de janelas.

Os Bairros localizados na **Região 01** possuem edificações executadas ao menos há 30 anos e edificações recentes demonstrando o uso de modelos de janelas correspondentes a cada concepção arquitetônica e as tecnologias disponíveis referentes à época, ou seja, janelas amplas em madeira com bandeira superior e elementos vazantes, observadas nas edificações mais antigas e janelas em alumínio natural e anodizado preto, com folhas de panos em vidro no sistema de correr em dimensões menores, nas edificações mais recentes.

Na **Região 02** compreende os bairros onde o valor venal do terreno é um dos maiores da região, segundo a Lei Municipal nº 4.476 (PREFEITURA..., 1997), as edificações são classificadas como padrão alto (ASSOCIAÇÃO..., 2006) e conseqüentemente os componentes construtivos utilizadas nestas edificações são correspondentes ao padrão definido. As janelas observadas nesta região são de dimensões maiores do que a definida pelo código de obras municipal e executadas em alumínio com duas folhas e panos em vidro no sistema de correr, foram encontrados alguns modelos com veneziana e persiana, bem como sistemas de abertura maxim-ar.

A **Região 03** é caracterizada em sua maioria por edifícios comerciais e poucas unidades residenciais, como demonstrado no quantitativo de edificações (Tabela 7). Os edifícios residenciais multifamiliares construídos nesta região são de padrão médio (ASSOCIAÇÃO..., 2006) e os materiais utilizados, bem como os tipos de janelas seguem o padrão de valores, atendendo a classificação do Custo Unitário Básico (CUB) publicado pelo SINDUSCON (SINDICATO..., 2012) e todas as janelas em alumínio, com duas folhas e panos em vidro, no sistema de abertura de correr.

A **Região 04** compreende um bairro de grande crescimento imobiliário e caracterizado por edificações de padrão construtivo médio (ASSOCIAÇÃO..., 2006). Os modelos de janelas encontradas nas edificações são em sua maioria no material alumínio, com duas folhas e panos em vidro, sistema de abertura de correr. Observou uma grande representatividade dos tipos de janelas com dois caixilhos, um com quatro folhas e panos de vidro, sistema de abertura de correr e o outro caixilho, com quatro folhas com pano de vidro e sistema de abertura do tipo maxim-ar.

Na **Região 05** o bairro está alterando suas características em relação à ocupação, inicialmente composto por edificações unifamiliares, muitas provenientes de antigos conjuntos habitacionais. Depois da década de 70, deste século, os grandes empreendimentos de condomínios verticais ocuparam grande parte do bairro, tendo suas características construtivas classificadas como de padrão médio (ASSOCIAÇÃO..., 2006). Os tipos de janelas mais

utilizadas são em alumínio com um caixilho e duas folhas com panos em vidro e no sistema de abertura de correr.

O bairro que compreende a **Região 06** é caracterizado por edificações com padrão alto (ASSOCIAÇÃO..., 2006) e uma mescla de edifícios unitários e edifícios que fazem parte de grandes condomínios que datam de aproximadamente 30 anos. São edifícios com até 20 pavimentos e acabamento que remetem a uma tendência no uso de alguns materiais e componentes construtivos específicos do período de sua execução. Os modelos de janelas mais observadas nesta região são em alumínio e com dimensões acima do exigido pela legislação municipal. Os tipos de janelas possuem sistemas diferenciados com uso de combinações de aberturas.

A caracterização das janelas possibilitou averiguar que as edificações mais antigas possuíam elementos que destacavam a preocupação com a proteção das aberturas, sejam por elementos arquitetônicos inseridos na fachada ou elementos que compunham a janela, assim como o uso de grandes vãos e sistemas compostos de aberturas, que privilegiam a ventilação e a iluminação natural, com a operacionalização independente.

Estes elementos foram, em sua maioria, abolida das edificações recentes que são caracterizadas por uma arquitetura desprovida de alguns elementos arquitetônicos e de tipos de janelas com elementos diferenciados, cuja função primordial era de possibilitar melhor condicionamento ambiental através da ventilação e da iluminação.

#### 4.2 DEFINIÇÃO DAS TEMPERATURAS E DO INTERVALO DE CONFIANÇA

As simulações determinaram às médias mensais das temperaturas do ar externo, considerando o arquivo climático TRY da cidade de Vitória, e posteriormente foram plotadas no gráfico de conforto adaptativo da ASHRAE 55 ou aplicados à Fórmula (1), descrita no capítulo 3 definindo as temperaturas neutras e os limites máximos e mínimos da temperatura de conforto, considerando 90% de aceitabilidade.

Para a pesquisa em questão foram adotadas as temperaturas máximas de conforto (Tabela 8), ressaltando que segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2004), as condições climáticas para Vitória definem percentuais elevados de horas de desconforto, podendo ser utilizada a ventilação natural como estratégia para amenizar o desconforto para o calor.

Para a definição dos dias válidos para análise, por meio dos resultados fundamentados na probabilidade e inferência estatística, foram definidos os valores do intervalo de confiança

para a temperatura externa diária de cada estação do ano (Tabela 9) determinando assim, os dias para avaliação (Tabela 10).

Tabela 8: Médias mensais das temperaturas do ar externo, temperatura neutra e o intervalo de temperatura de conforto térmico baseado no modelo de conforto adaptativo da ASHRAE 55. Em destaque as temperaturas de conforto adotadas

Meses	Temperatura média mensal do ar externo (°C)	Temperatura neutra (°C) $T_n=0,31(T_e)+17,8$	Intervalo de Temperatura de conforto (°C) ASHRAE 55 90% aceitabilidade	Temperatura máxima de conforto (°C) para o calor
Janeiro	26,35	25,96	23,45 – 28,45	28,45
Fevereiro	25,76	25,78	23,27 – 28,27	28,27
Março	26,65	26,06	23,55 – 28,55	28,55
Abril	25,34	25,65	23,14 - 28,14	28,14
Maio	22,84	24,88	22,37 - 27,37	27,37
Junho	21,98	24,61	22,11 - 27,11	27,11
Julho	22,38	24,73	22,23 - 27,23	27,23
Agosto	21,69	24,52	22,02 - 27,02	27,03
Setembro	22,07	24,64	22,13 - 27,14	27,14
Outubro	24,41	25,36	22,85 - 27,86	27,86
Novembro	26,50	26,01	23,50 - 28,50	28,50
Dezembro	26,86	26,12	23,61 – 28,61	28,61

Tabela 9: Valores do intervalo de confiança de cada estação para a definição dos dias para análise

Estações	Intervalo de confiança da temperatura externa diária (°C)
Verão	25,97 a 26,77
Outono	23,42 a 24,56
Inverno	21,59 a 22,35
Primavera	24,82 a 25,94

Tabela 10: Dias definidos por meio do intervalo de confiança obtido da temperatura externa diária para as estações do ano

INTERVALO DE CONFIANÇA	Estação do Verão				Estação do Outono			Estação do Inverno				Estação da Primavera			
	Período 21/12 – 21/03				Período 22/03 – 20/06			Período 21/06 – 22/09				Período 23/09 – 20/12			
	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jun	Jul	Ago	Set	Set	Out	Nov	Dez
	21	05	01	01	10	01	02	21	01	05	01	24	06	16	06
		06	08	03	11	06	16	23	02	06	04		07	17	10
		17	09	06	16	09	17	28	05	07	07		08	18	14
		22	10	09	29	16		30	13	11	09		13	30	18
			17	10	30	17			14	15	13		14		20
			19	11		18			16	21	14		16		
			20			21			19	22	20		17		
			21			22				24	21		21		
			25			29					22				
			26												
	22 dias = 528 horas				17 dias = 408 horas			28 dias = 672 horas				18 dias = 432 horas			
	TOTAL = 84 dias e 2016 horas														

A determinação da temperatura de conforto de cada mês, o intervalo de valores de temperatura externa diária, para a definição dos dias de análise do desempenho térmico, assim como, o quantitativo de horas e dias de cada estação, permitiram analisar as condições internas dos ambientes, considerando somente os valores de temperatura operativa como condicionante para o conforto térmico.

Inicialmente foi simulado o ambiente com o modelo mais utilizado nas edificações MA e os resultados das temperaturas operativas, referente a cada pavimento e em cada orientação, foram submetidos a procedimentos estatísticos para definir os valores de GhDT diário que posteriormente, determinou o maior valor em cada estação, sendo este o valor de referência para a análise das propostas de janelas objetivando minimizar o desconforto térmico (Tabela 11).

Tabela 11: Valores referenciais, do dia com maior GhDT, obtidos do modelo MA, em cada orientação. Em destaque o valor adotado

Valor referência do GhDT	ESTAÇÃO DO VERÃO - (Máx. de GhDT = 1020,36°C.h/dia = 22 dias x 46,38°C.h/dia)			
	SUL	OESTE	NORTE	LESTE
	08/fev - 1° pav GhDT = 42,54°C.h/dia	08/fev - 1° pav GhDT = 46,38°C.h/dia	09/fev - 1° pav GhDT = 40,14°C.h/dia	11/mar - 1° pav GhDT = 29,10°C.h/dia
	ESTAÇÃO DO OUTONO - (Máx. de GhDT = 318,92°C.h/dia = 17 dias x 18,76°C.h/dia)			
	SUL	OESTE	NORTE	LESTE
	10/abr - 1° pav GhDT = 12,58°C.h/dia	10/abr - 1° pav GhDT = 14,98°C.h/dia	18/abr - 1° pav GhDT = 18,76°C.h/dia	10/abr - 1° pav GhDT = 15,44°C.h/dia
	ESTAÇÃO DO INVERNO - (Máx. de GhDT = 474,6°C.h/dia = 28 dias x 16,95°C.h/dia)			
	SUL	OESTE	NORTE	LESTE
	19/jul - 1° pav GhDT = 7,58°C.h/dia	19/jul - 1° pav GhDT = 14,78°C.h/dia	19/jul - 1° pav GhDT = 16,95°C.h/dia	19/jul - 1° pav GhDT = 11,09°C.h/dia
	ESTAÇÃO DA PRIMAVERA - (Máx. de GhDT = 1357,74°C.h/dia = 18 dias x 75,43°C.h/dia)			
	SUL	OESTE	NORTE	LESTE
	30/nov - 1° pav GhDT = 75,43°C.h/dia	16/out - 1° pav GhDT = 54,58°C.h/dia	16/out - 1° pav GhDT = 57,02°C.h/dia	16/out - 1° pav GhDT = 55,31°C.h/dia

### 4.3 SIMULAÇÕES

As simulações possibilitaram avaliar a influência de cada modelo de janela no desempenho térmico do ambiente, considerando a temperatura operativa horária como fator determinante do desconforto térmico, destacando a adoção da ventilação natural como estratégia para a melhoria da habitabilidade.

Para a avaliação foram compiladas 72.576 temperaturas operativas horárias, referente a 3.024 valores de temperatura operativa diárias, para os três modelos de janelas. As simulações foram nos três pavimentos, para as quatro orientações principais e no período de um ano, considerando o intervalo de confiança de 84 dias válidos para análise. Salienta-se que para a verificação das condições internas do ambiente em relação a cada orientação, foi necessária a rotação do edifício, posicionando a janela para a orientação a ser simulada, tendo assim as condições internas em cada orientação.

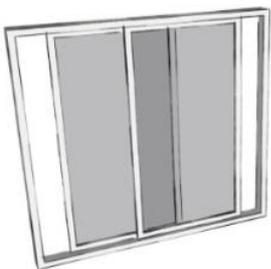
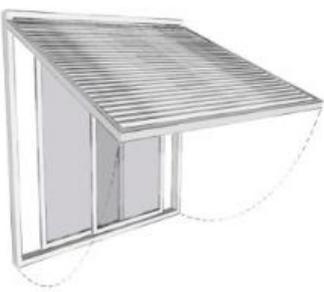
O modelo MA comumente utilizado nas edificações multifamiliares, tem as seguintes características: marco com um caixilho, duas folhas com panos de vidro no sistema de correr (Figura 33 a).

O segundo modelo, designado de proposta P1, com componentes prescritos nas normativas mencionadas no capítulo 2 e definida por Nico-Rodrigues (2008, 2011) como uma das opções para a melhoria das condições térmicas internas, também foi observado, sua utilização nas edificações multifamiliares, como demonstrado no Quadro 7, com a identificação de MV. Possui as seguintes características: marco com dois caixilhos, um com duas folhas e panos de vidro no sistema de correr e o outro com persiana no sistema de abertura projetante, sendo possível desenvolver a função de dispositivo de sombra durante o dia e no período noturno proporcionar ventilação constante, por meio da abertura das persianas (Figura 33 b).

O terceiro modelo, designado proposta P2 considerou os resultados obtidos do modelo P1 e a necessidade de redirecionamento o fluxo de ar principalmente nas estações com desempenho térmico em níveis desfavoráveis, como no verão e na primavera. Nestas estações, a frequência do vento é para os quadrantes Norte e Nordeste (Figura 33 c).

Sendo assim adotou-se o sistema de abertura do tipo camarão, sendo as folhas com panos em venezianas móveis, posicionada estrategicamente de acordo com frequência dos ventos dominantes em cada orientação, objetivando captar e redirecionar o fluxo de ar para o interior do ambiente.

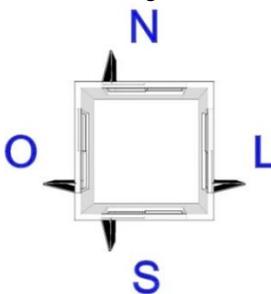
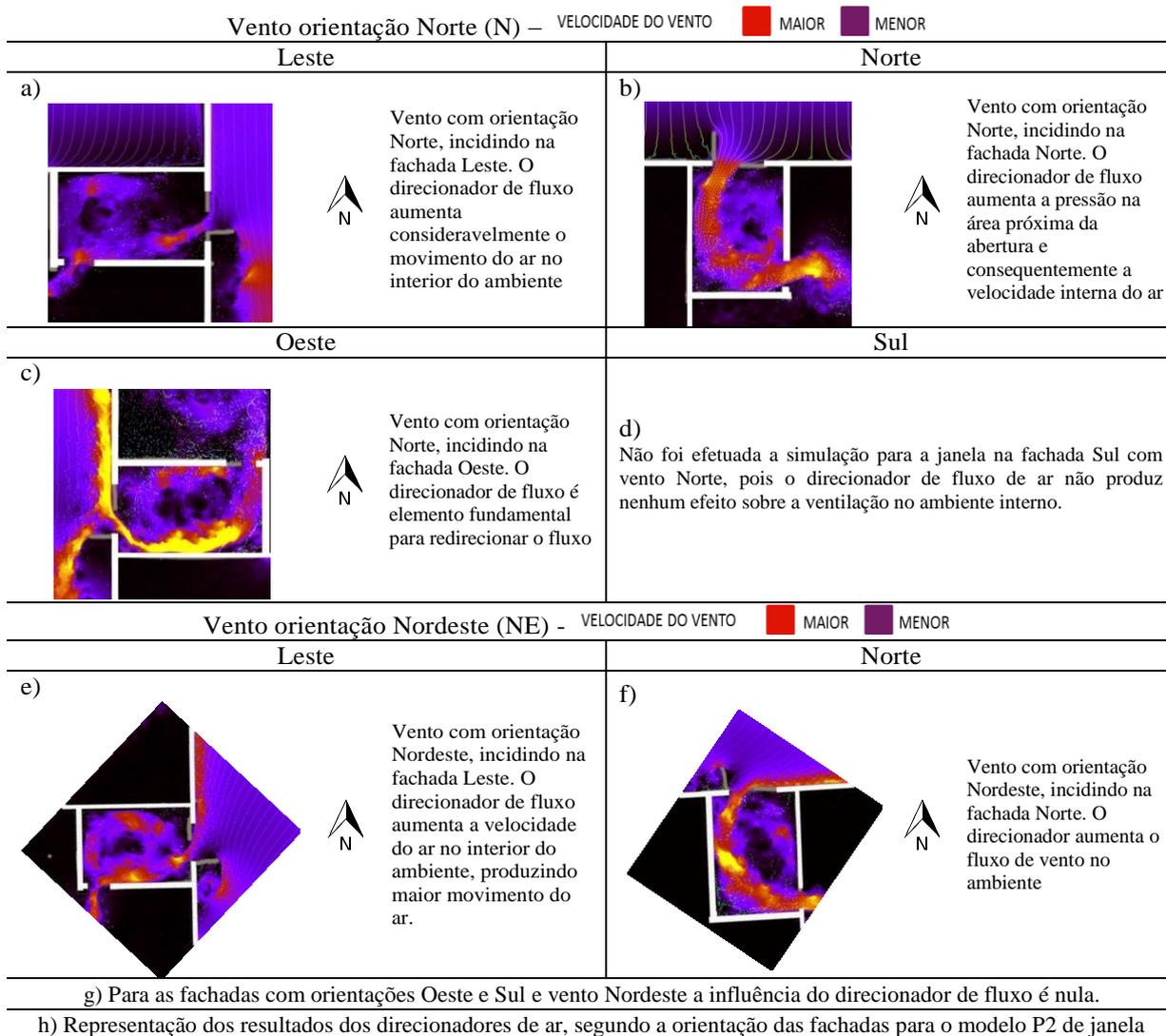
Figura 33: Modelos de janelas adotados para análise da influência do desempenho

a)- Modelo MA Correr	b)- Modelo P1- Correr com sombreador e veneziana	c)- Modelo P2 - Correr com sombreador em veneziana para o controle solar e direcionador de fluxo com sistema de correr do tipo camarão
		

Para a definição da melhor orientação do direcionador de fluxo e o sentido de abertura das janelas, foram efetuadas simulações considerando o percurso desenvolvido pelo vento com orientação Norte e Nordeste (Figura 34, a, b, c, d, e, f, g,) vento predominante em Vitória. Os resultados demonstraram que o direcionador de fluxo de ar altera consideravelmente o movimento e a velocidade do ar no interior do ambiente, resultando na necessidade de modificações de sentido de abertura de acordo com a orientação. Sendo assim, o modelo P2

utilizou para a orientação Norte e Oeste, a abertura para a esquerda e nas orientações Leste e Sul, a abertura para a direita, conforme observado na Figura 34h.

Figura 34: Posicionamento da abertura para cada orientação utilizando as simulações com o software Wind Tunnel-Pro



A primeira série de resultados analisou e definiu as condições internas do ambiente com o uso do modelo de janela MA, determinado pelo levantamento de campo, como o modelo mais utilizado nas edificações residenciais multifamiliares.

A segunda e terceira série de gráficos demonstrou os resultados dos modelos P1 e P2. Os valores de FDT e GhDT obtidos para cada dia foram plotados no diagrama de fluabilidade caracterizando as condições térmicas finais do ambiente dormitório 1 para o conforto térmico. Ressalta-se que o diagrama de fluabilidade demonstrou as situações diárias, sendo que a melhor condição é aquela que converge para a origem.

### 4.3.1 Verão

#### I. ANÁLISE DOS NÍVEIS DE FLUTUABILIDADE

##### **MODELO MA**

Os resultados do modelo MA (Gráfico 12- 1a, 1b, 1c, 1d) determinaram para o período, ambiente desconfortável em todas as orientações e nos três pavimentos avaliados (NICO-RODRIGUES et al., 2015). Observou que em todos os pavimentos e orientações os resultados de FDT e GhDT indicaram três níveis de sensações de desconforto:

- Primeiro: dias com desconforto térmico leve e temporário, onde os valores de GhDT foram menores em um curto período do dia culminando em um percentual menor de FDT;
- Segundo: dias com desconforto leve, porém frequente, configurando temperaturas amenas por um período maior no dia, ou seja, um FDT com percentuais maiores; e
- Terceiro: constatou-se que o desconforto foi intenso e frequente, demonstrando valores elevados de GhDT e de FDT.

##### **MODELO P1**

Os resultados das simulações para o modelo P1 (Gráfico 12- 2a, 2b, 2c, 2d) determinaram para o período do verão, ambiente desconfortável em todas as orientações e nos três pavimentos avaliados, porém a análise comparativa com o modelo MA, demonstrou melhorias substanciais nas condições internas do ambiente. Observou que em todos os pavimentos e orientações os resultados de FDT e GhDT indicaram dois níveis de sensações de desconforto:

- Primeiro: um percentual de dias com desconforto térmico leve e temporário, onde os valores de GhDT foram menores em um curto período do dia culminando no percentual menor de FDT; e

- Segundo: um percentual equivalente ao primeiro nível com dias de desconforto leve e frequente, configurando temperaturas mais elevadas por um período maior no dia, ou seja, o FDT com percentuais maiores.

## **MODELO P2**

Os resultados para o modelo P2 (Gráfico 12 – 3a, 3b, 3c, 3d) apresentaram ainda um ambiente com nível de desconforto em todas as orientações e nos três pavimentos avaliados, porém a análise comparativa com o modelo P1, demonstrou pequenas melhorias nas condições internas do ambiente. Observou que em todos os pavimentos e orientações os resultados de FDT e GhDT indicaram também, dois níveis de sensações de desconforto, igual ao do modelo P1.

### **II. ANÁLISE POR ORIENTAÇÃO**

## **MODELO MA**

Constatou-se que todas as orientações (Gráfico 12 – 1a, 1b, 1c, 1d) obtiveram resultados muito parecidos, com ambientes apresentando comportamentos semelhantes com desempenho mais desfavorável ao conforto térmico, tendo a orientação Oeste os valores mais elevados, com temperaturas acima do limite de conforto, e dias de pouca flutuação, ou seja, com 100% das horas em desconforto. Constatou-se que a orientação Sul definiu melhores condições térmicas comparadas com as demais orientações.

O GhDT possui flutuações moderadas e com algumas particularidades observadas nos pavimentos. O desempenho do ambiente para todas as orientações determinou um nível de desconforto leve e temporário para alguns dias, e em outros dias, a condição foi de sensação leve e frequente e um percentual de dias com intensidade de frequência mais elevado.

## **MODELO P1**

A análise dos resultados do modelo P1(Gráfico 12 - 2a, 2b, 2c, 2d) definiram ambientes com melhor desempenho para o conforto térmico quando comparadas com o modelo MA. Quanto ao comparativo entre as orientações do modelo P1, observou que os resultados se mantiveram muito parecidos, com pequenas diferenças percentuais, tanto de FDT como GhDT, demonstrando que as orientações Leste e Oeste apresentaram condições melhores de desempenho, sendo que os resultados mais positivos foram obtidos na orientação Leste. As orientações Norte e Sul definiram ambientes com condições semelhantes de desempenho, sendo a orientação Norte a pior situação para o conforto térmico.

Ressalta-se que em todas as orientações os valores de temperatura operativa se mantiveram períodos acima do limite de conforto e períodos dentro do limite de conforto, classificando o desconforto para todas as orientações, como sendo de intensidade leve e temporário com períodos para frequente. Destaca-se que o aumento do FDT de temporário para frequente foi devido às alterações diárias da temperatura interferindo nas condições internas do ambiente.

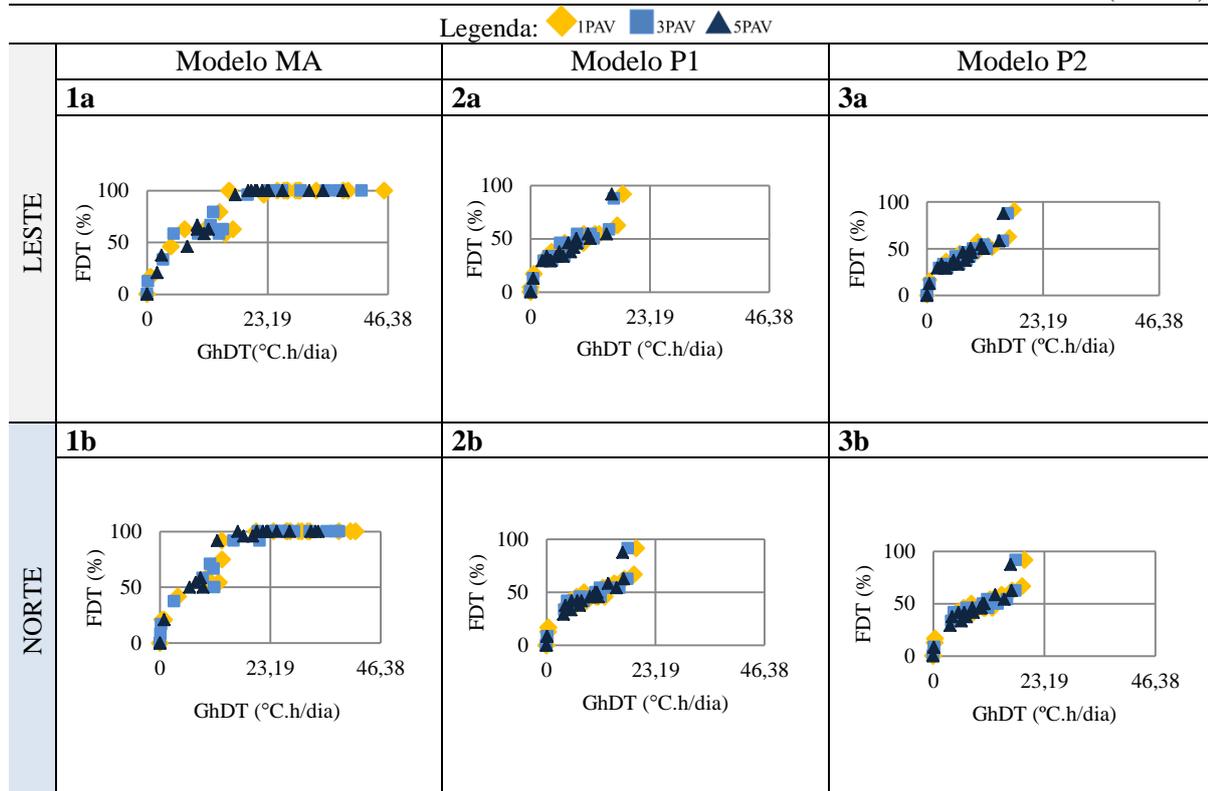
**MODELO P2**

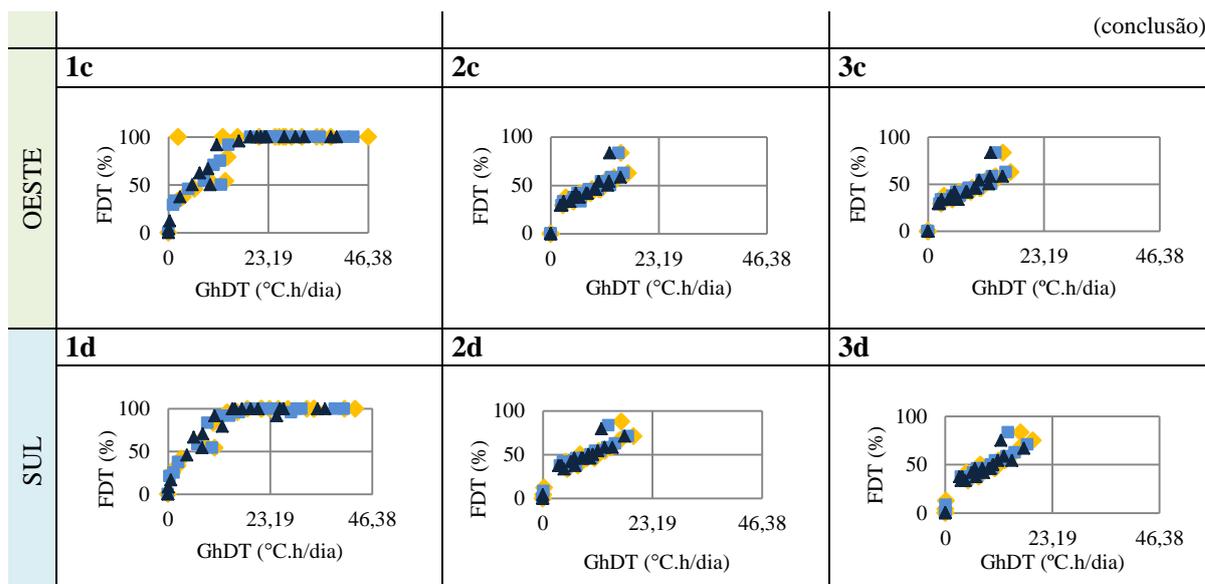
Os resultados do modelo P2 (Gráfico 12- 3a, 3b, 3c, 3d) determinaram ambientes com uma pequena melhoria do desempenho quando comparadas com o modelo P1. Quanto ao comparativo entre as orientações do modelo P2, observou-se que os resultados se mantiveram com percentuais semelhantes e com pequenas alterações, demonstrando que as orientações Leste e Oeste apresentaram condições muito semelhantes, porém a orientação Leste teve melhor desempenho, classificando o desconforto para todas as orientações, como sendo de intensidade leve e temporário com períodos para frequente.

Em relação ao comportamento verificado nas outras orientações (Norte e Sul), observou-se ambientes com desempenho semelhantes e tendo a orientação Norte o pior desempenho.

Gráfico 12: Diagramas de fluatibilidade dos três modelos de janela para o verão

(continua)





### III. ANÁLISE DO SOMATÓRIO DE FDT E GHDT

A análise do somatório do FDT e do GhDT para cada modelo de janela demonstrou que as adoções de componentes permeáveis à ventilação, de proteção da radiação e de redirecionamento do vento resultaram em temperatura operativa com valores menores culminando na diminuição do percentual de horas de desconforto e na quantidade de grau hora (Gráfico 13- 1<sup>a</sup>, 1b, 1c; 2<sup>a</sup>, 2b, 2c e 3<sup>a</sup>, 3b, 3c, 3d).

#### MODELO MA

Considerando o desempenho mais favorável ao conforto térmico e observando o somatório de FDT e GhDT (Gráfico 13- 1<sup>a</sup>, 1b, 1c), para o período do verão, em relação a cada orientação, conclui-se que o 5<sup>o</sup> pavimento, orientação Sul obteve os melhores percentuais de frequência, com 64,7% do período em desconforto e um GhDT de 281°C.h/dia e o 1<sup>o</sup> pavimento da orientação Oeste definiu a condição pior de desempenho, com uma FDT de 77,46% das horas em desconforto e um GhDT de 418,02°C.h/dia (orientação Leste).

Destaca-se que o maior GhDT foi para a orientação Norte (466,18°C.h/dia), fato explicado pelo período de exposição à radiação solar, acarretando um aumento na temperatura interna em parte do período.

#### MODELO P1

O modelo P1 (Gráfico 13- 2<sup>a</sup>, 2b, 2c) definiu condições mais favoráveis ao conforto térmico diminuindo aproximadamente em 50% as horas em desconforto e o quantitativo de graus horas para todas as orientações e pavimentos, comparados com o MA. Observa-se que o pavimento que obteve resultados mais positivos foi o 5<sup>o</sup>, em todas as orientações, sendo que a

orientação Leste apresentou as melhores condições, diminuindo de 67,6% de horas no modelo MA, para 34,28% de horas em desconforto para o modelo P1, como também a diminuição dos graus horas de 339,25°C.h/dia para 134,28°C.h/dia, para o 1º pavimento.

O pior desempenho foi para a orientação Norte, no 1º pavimento, com uma frequência de 40,9% do período em desconforto e um GhDT de 185,51°C.h/dia. As condições de desempenho caracterizadas nos resultados demonstraram a necessidade de alterações na janela, utilizando dimensões e localização diferentes como também no nível do edifício.

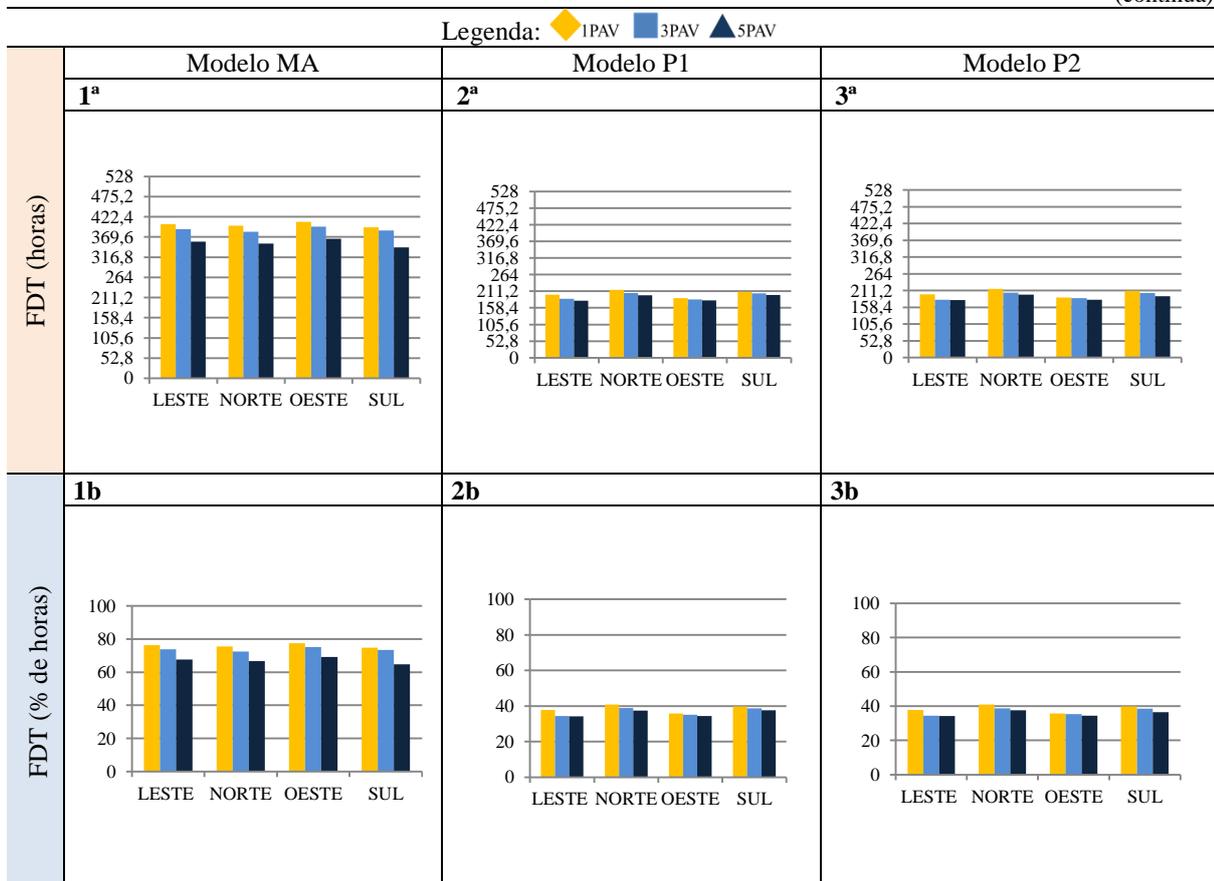
## MODELO P2

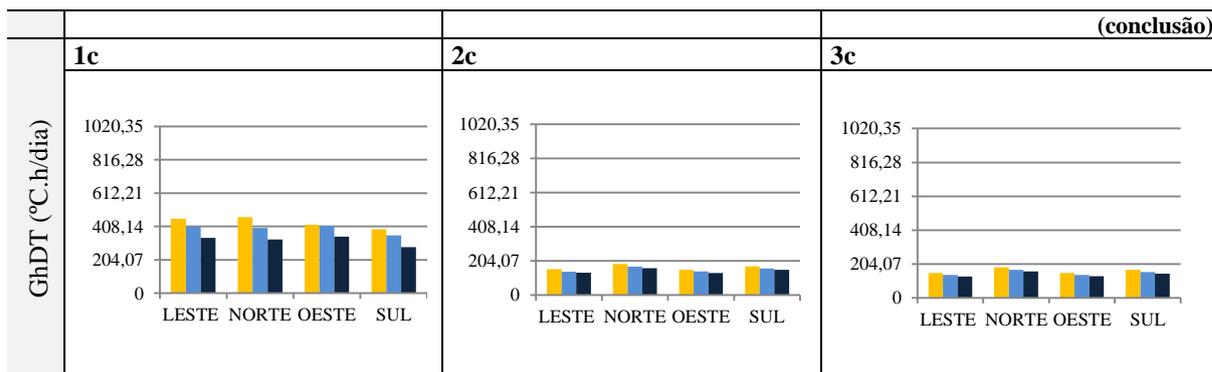
Os resultados apresentados nas simulações do modelo P2 (Gráfico 13- 3ª, 3b, 3c) definiram condições mais favoráveis ao conforto térmico, diminuindo os valores do percentual de horas, bem como a quantidade de grau hora em desconforto.

Ressalta-se que o pavimento que obteve o melhor resultado foi o 5º para a orientação Leste, mantendo a frequência de horas e diminuindo 4,48°C.h/dia de grau hora de desconforto, em relação ao P1. O pior desempenho foi observado no 1º pavimento da orientação Norte, com o mesmo percentual de horas em desconforto, comparadas com P1.

Gráfico 13: Resultado do somatório de FDT e GhDT para o verão

(continua)





Os resultados com o modelo MA revelaram a necessidade de intervenção para a melhoria do desempenho térmico do ambiente, como por exemplo, a adoção de dispositivos de sombra, elementos vazantes, alterações nas dimensões, localização e utilização de sistemas de aberturas diferenciados, considerando soluções adotadas para o elemento janela.

Os resultados do modelo P1 demonstraram que a utilização de dispositivos de sombra, minimizando a incidência solar no período de temperaturas mais elevadas e o uso de elementos vazantes permitindo a ventilação constante, visto que a frequência do vento no verão é de 53,8% e que no período da tarde, tem-se o menor percentual de ausência, foram fatores importantes para melhorar as condições internas do ambiente. Ressalta-se que a possibilidade de uso da ventilação noturna, também foi um dos fatores que auxiliou na melhoria da habitabilidade.

A utilização de dispositivos para redirecionar o fluxo de ar, como uma das possibilidades de melhoria das condições térmicas internas, foi utilizada no modelo P2 de janela, que demonstrou a necessidade de intervenção com outros elementos que permitem diminuir os valores de FDT e GhDT do ambiente. A proposta de soluções a serem utilizadas refere-se ao aumento da área de abertura para ventilação, permitindo assim, um movimento maior do ar interno, considerando os diversos sistemas de abertura.

### 4.3.2 Outono

#### I. ANÁLISE DOS NÍVEIS DE FLUTUABILIDADE

##### MODELO MA

O modelo MA (Gráfico 14 - 1a, 1b, 1c, 1d) determinou para o outono, ambiente com períodos desconfortáveis para as orientações Leste, Norte e Oeste e para a orientação Sul os resultados foram mais positivos. Observou que em todos os pavimentos e orientações os resultados de FDT e GhDT indicaram três níveis de sensações de desconforto:

- Primeiro: dias com desconforto térmico leve e temporário, tendo os valores menores de GhDT em um curto período do dia, culminando em um percentual menor de FDT;
- Segundo: dias com desconforto leve, porém frequente, configurando um desconforto por um período maior no dia, ou seja, um FDT com percentuais elevados; e
- Terceiro: constatou-se que o desconforto foi intenso e frequente em um curto período, demonstrando valores elevados de GhDT e de FDT.

### **MODELO P1**

Os resultados para o modelo P1 (Gráfico 14 - 2a, 2b, 2c, 2d) determinaram para a estação do outono, ambiente com um nível de confortabilidade maior em todas as orientações e pavimentos. Constatou que os resultados de FDT e GhDT, indicaram um nível de sensação de desconforto, leve e temporário, tendo valores menores de GhDT em um curto período do dia, culminando no percentual menor de FDT.

### **MODELO P2**

Os resultados para o modelo P2 (Gráfico 14 – 3a, 3b, 3c, 3d) apresentaram ambiente com nível menor de desconforto, comparados com os outros modelos, porém a análise comparativa com o modelo P1, demonstrou pequenas melhorias nas condições internas do ambiente. Observou que em todos os pavimentos e orientações os resultados de FDT e GhDT indicaram somente, um nível de sensação de desconforto, caracterizado por ser leve e temporário.

## **II. ANÁLISE POR ORIENTAÇÃO**

### **Modelo MA**

Analisando os resultados por orientação do modelo MA, constatou-se:

1. Orientação Leste e Oeste (Gráfico 14 – 1a, 1c): os valores de temperaturas nas duas orientações são semelhantes. O GhDT possui pouca flutuação, bem como FDT. Para o desempenho do ambiente nessas orientações obteve-se um nível de desconforto para alguns dias, classificado como leve e temporário e em outro período com sensação de desconforto intenso e frequente.
2. Orientação Norte (Gráfico 14 – 1b): os valores de temperaturas se mantiveram quase em sua totalidade acima do limite de conforto com pouca flutuação durante todo o período. O desempenho do ambiente determinou um nível de desconforto com intensidade leve e temporário para intenso e frequente, definindo a orientação com os piores resultados para o desempenho térmico do ambiente.

3. Orientação Sul (Gráfico 14 – 1d): constatou-se que os valores de temperatura operativa se mantiveram acima do limite de conforto em um curto período de tempo, porém com flutuações, classificando o conforto para esta orientação como sendo de intensidade leve para moderado, e um FDT temporário, com alguns dias de sensações de desconforto térmico intenso e frequente, configurando as melhores condições térmicas.

### Modelo P1

O modelo P1 (Gráfico 14 - 2a, 2b, 2c, 2d) obteve em todas as orientações melhorias no desempenho para o conforto térmico e a orientação Norte alcançou melhor resultado no desempenho do ambiente com a utilização de dispositivos de sombra e elementos vazantes nas janelas, quando comparados os resultados com o modelo MA. Quanto à análise dos resultados de cada orientação do modelo P1, observou que se mantiveram parecidos, com pequenas diferenças e demonstrando que a orientação sul apresentou uma condição melhor.

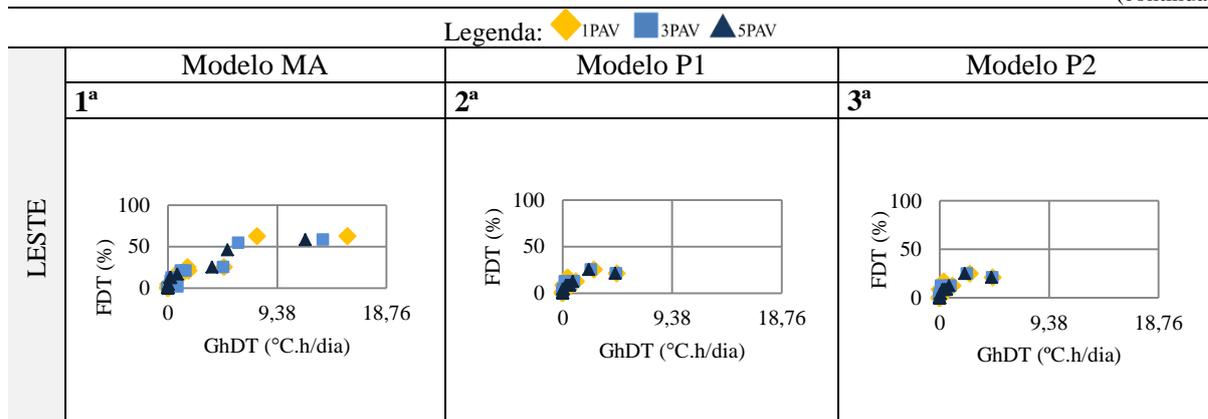
Ressalta-se que nas orientações Leste, Norte e Oeste os valores de temperatura operativa se mantiveram períodos acima do limite de conforto e períodos dentro do limite de conforto, tendo a orientação Norte o pior desempenho. O desconforto para as orientações foi classificado de intensidade leve e temporário.

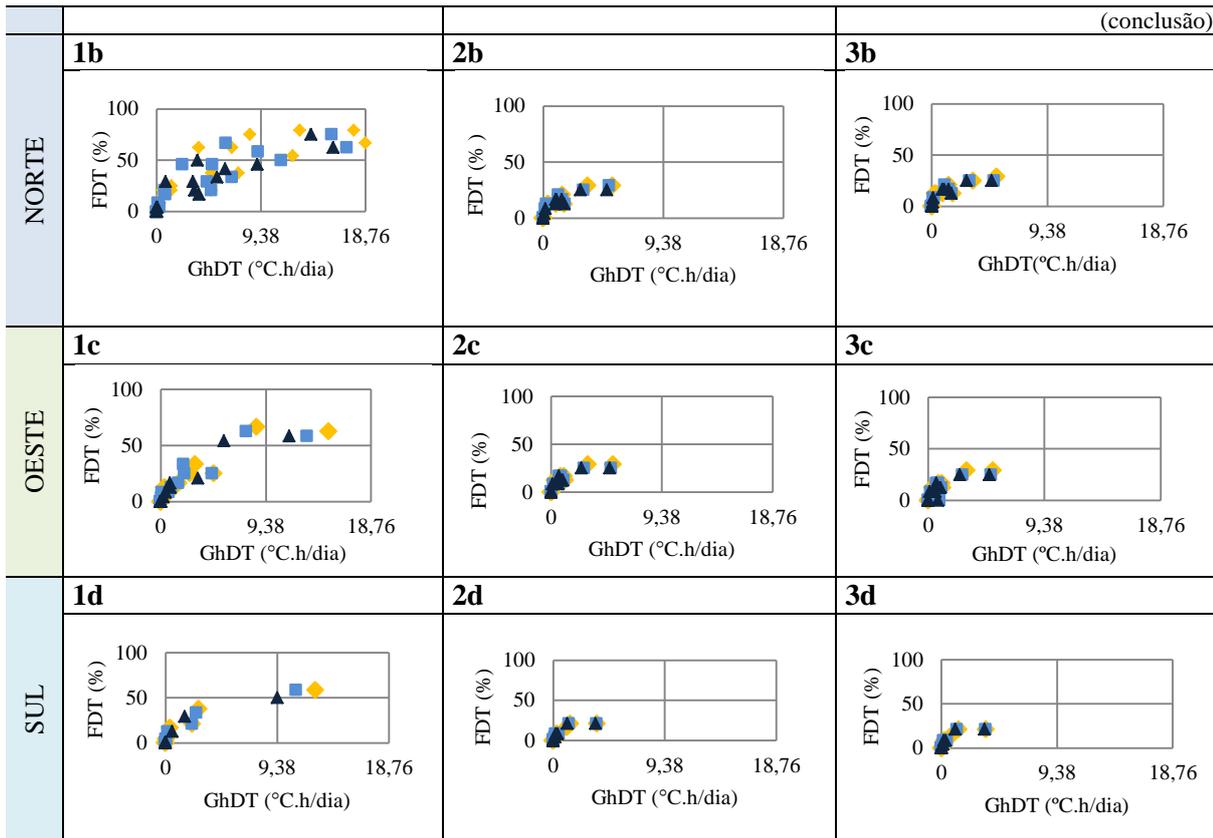
### MODELO P2

Os resultados do modelo P2 (Gráfico 14 - 3a, 3b, 3c, 3d) determinaram ambientes com uma pequena melhoria do desempenho quando comparadas com o modelo P1. Quanto ao comparativo entre as orientações, observou que os resultados se mantiveram com percentuais semelhantes e com pequenas alterações em relação ao P1, demonstrando que a orientação Sul apresentou uma condição melhor de desempenho e a orientação Norte o pior desempenho, classificando o desconforto para as orientações, como sendo de intensidade leve e temporário.

Gráfico 14: Diagrama de fluatibilidade dos três modelos de janela para o outono

(continua)





### III. ANÁLISE DO SOMATÓRIO DE FDT E GHDT

O somatório do FDT e do GhDT dos modelos P1 e P2 demonstraram que dispositivos de sombra, elementos vazantes e possibilidade de direcionar o fluxo de ar são componentes importantes e essenciais para possibilitar melhores condições térmicas no ambiente Gráfico 15 - 2a, 2b, 2c e 3a, 3b, 3c).

#### Modelo MA

Considerando o melhor desempenho do ambiente, o somatório de FDT e GhDT determinou para o outono, em relação a cada orientação do modelo MA (Gráfico 15- 1a, 1b, 1c) o 5º pavimento para a orientação Sul com melhores sensações de conforto para todas as orientações, com o FDT de 5,4%, e o GhDT de 11,59°C.h/dia definindo o mínimo de flutuação com menores percentuais e menor quantitativo de graus horas de desconforto em relação as outras orientações.

A determinação da orientação Sul com melhores condições decorreu da ausência de insolação na fachada, minimizando o efeito da radiação nas aberturas, como também a frequência do vento, neste período para as orientações Sul (18,1%) e Sudoeste (16,1%).

Constatou-se que o 1º pavimento da orientação Norte definiu a pior condição de desempenho, fato relacionado à maior incidência solar, a altura do pavimento e a ausência do vento para a

orientação em questão, foram os fatores que incidiram na definição da condição observada nas simulações.

### Modelo P1

O modelo P1 (Gráfico 15- 2a, 2b, 2c) definiu condições muito favoráveis ao conforto térmico diminuindo quase em sua totalidade a frequência e a intensidade de desconforto térmico. Observou que o andar que obteve resultado mais positivo foi o 5º pavimento na orientação Sul, diminuindo de 5,4% de horas para 3,92% de horas em desconforto, resultando também na diminuição dos graus horas de 11,59°C.h/dia para 5,58°C.h/dia.

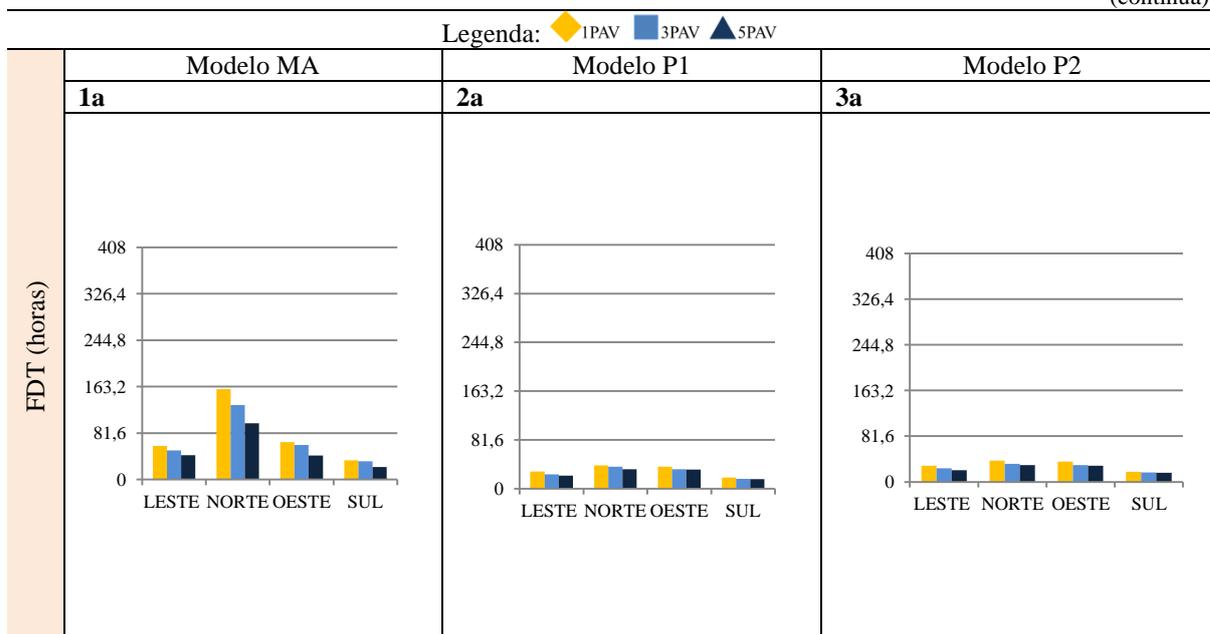
O pior desempenho foi observado no 1º pavimento da orientação Norte, destacando que mesmo tendo uma grande melhoria em relação ao modelo MA, entre as análises das orientações no modelo P1, o 1º pavimento da orientação Norte tem a influência da radiação solar por um grande período do dia, bem como a menor interferência da ventilação, refletindo no aumento da temperatura interna.

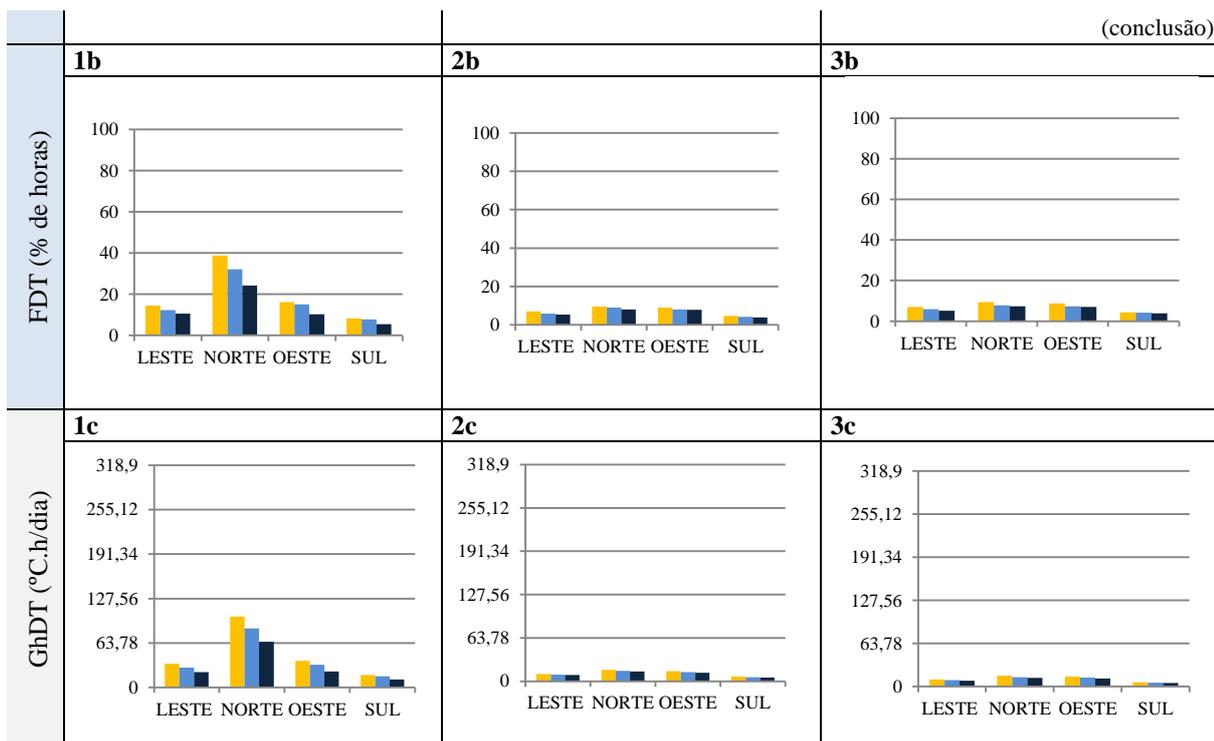
### MODELO P2

Os resultados apresentados nas simulações do modelo P2 (Gráfico 15 - 3a, 3b, 3c) definiram condições mais favoráveis ao conforto térmico, tendo a orientação Sul as melhores condições para o 5º pavimento. E como mencionado no modelo P1, também se observou que o 1º pavimento da orientação Norte teve o pior desempenho, pelos mesmos fatores relatados para o modelo P1.

Gráfico 15: Resultado do somatório de FDT e GhDT para o outono

(continua)





Os resultados apresentados pelo modelo P1 demonstraram que a utilização de dispositivos de sombra, elementos vazantes e o redirecionamento do vento foram fatores para melhorar as condições internas do ambiente, tornando-o confortável, principalmente utilizando a ventilação noturna como meio de condicionamento passivo.

Pode-se concluir que mesmo utilizando elementos permeáveis à ventilação, dispositivos de sombra e de redirecionamento do vento, adoções de medidas como o aumento das dimensões e reposicionamento da janela são algumas soluções para melhorar os efeitos do aumento da temperatura em ambientes ventilados naturalmente.

### 4.3.3 Inverno

#### I. ANÁLISE DOS NÍVEIS DE FLUTUABILIDADE

##### MODELO MA

Para a estação do inverno foi observado um bom desempenho em todas as orientações para o modelo MA (Gráfico 16– 1a, 1b, 1c, 1d), mesmos tendo dias classificados com desconforto intenso e temporário para frequente. Em todos os pavimentos e orientações os resultados de FDT e GhDT indicaram três níveis de sensações de desconforto:

- Primeiro: dias com desconforto térmico leve para moderado e temporário, onde os valores de GhDT foram menores em parte do dia culminando em um percentual menor de FDT; e

- Segundo: dias com desconforto intenso, porém temporário, configurando um GhDT maior e um FDT com percentuais baixos; e
- Terceiro: um percentual pequeno de dias com sensações de desconforto intenso e frequente.

### **Modelo P1 e Modelo P2**

Os resultados para o modelo P1 e P2 (Gráfico 16 – 2a, 2b, 2c, 2d e 3a, 3b, 3c e 3d) determinaram para a estação do inverno ambiente 100% confortável, ou seja, as temperaturas operativas diárias estavam abaixo do limite definido para a aceitabilidade do ocupante.

## **II. ANÁLISE POR ORIENTAÇÃO**

### **MODELO MA**

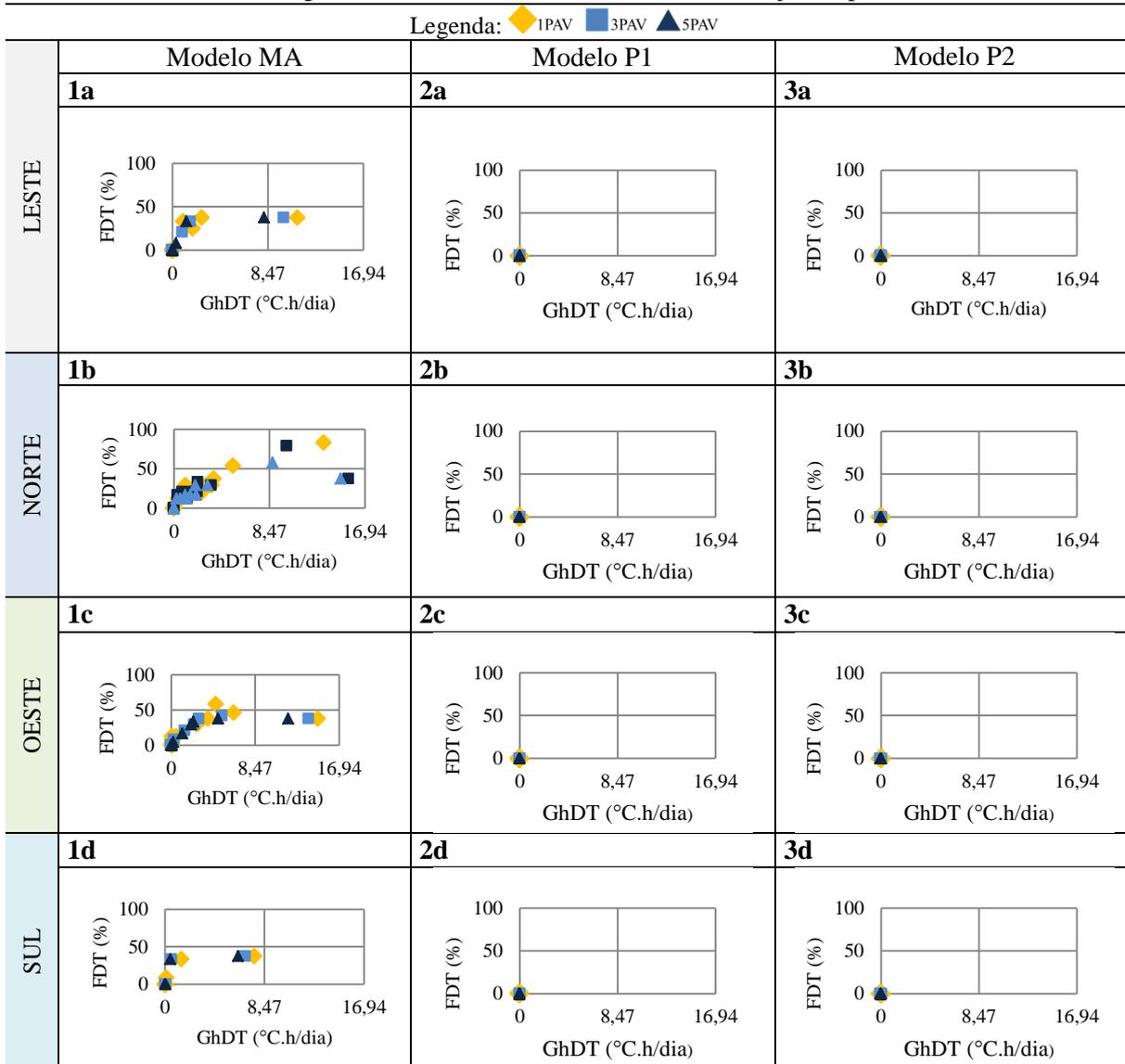
Analisando os resultados por orientação do modelo MA, constatou-se:

1. Orientações Leste e Oeste (Gráfico 16 – 1a e 1c): com o GhDT e FDT com valores baixos em grande parte do período. Para o desempenho do ambiente nessas orientações obteve-se um nível de desconforto leve e temporário para alguns dias, e em outros dias a condição foi de sensação de desconforto intenso e temporário.
2. Orientação Norte (Gráfico 16 - 1b): os valores de temperaturas se mantiveram acima do limite de conforto com flutuação moderada durante o período. O desempenho do ambiente para esta orientação determinou um nível de desconforto leve para intenso e temporário para frequente, caracterizando o ambiente nesta orientação com o pior desempenho.
3. Orientação Sul (Gráfico 16 - 1d): demonstraram flutuação moderada mantendo-se com pequenas diferenças de temperatura durante o período do dia, tendo o desconforto de intensidade leve para moderado e temporário, configurando ambientes mais confortáveis

### **MODELO P1 E MODELO P2**

Para o modelo P1 e P2 os elementos utilizados nas janelas possibilitaram melhorias consideráveis nas condições internas do ambiente, demonstradas no Gráfico 16 – 2a, 2b, 2c, 2d e 3a, 3b, 3c e 3d, onde todos os valores se posicionaram na origem do diagrama de flutuabilidade.

Gráfico 16: Diagramas de fluutuabilidade dos três modelos de janela para o inverno



### III. ANÁLISE DO SOMATÓRIO DE FDT E GHDT

O resultado final do somatório de FDT e de GhDT dos modelos P1 e P2 de janela definiram que em estações com temperaturas baixas e condições climáticas amenas, a importância da utilização de componentes como, dispositivos de sombra de redirecionamento do vento e de elementos vazantes são determinantes para o alcance de ambientes classificados como confortável.

#### MODELO MA

Considerando o ambiente com o melhor desempenho, o somatório de FDT e GhDT para todo o período do inverno, em relação a cada orientação do modelo MA (Gráfico 17 - a, b, c) determinou que o 5º pavimento obteve melhores sensações de conforto para as orientações. A determinação da orientação Sul com melhores condições decorreu da ausência de insolação na

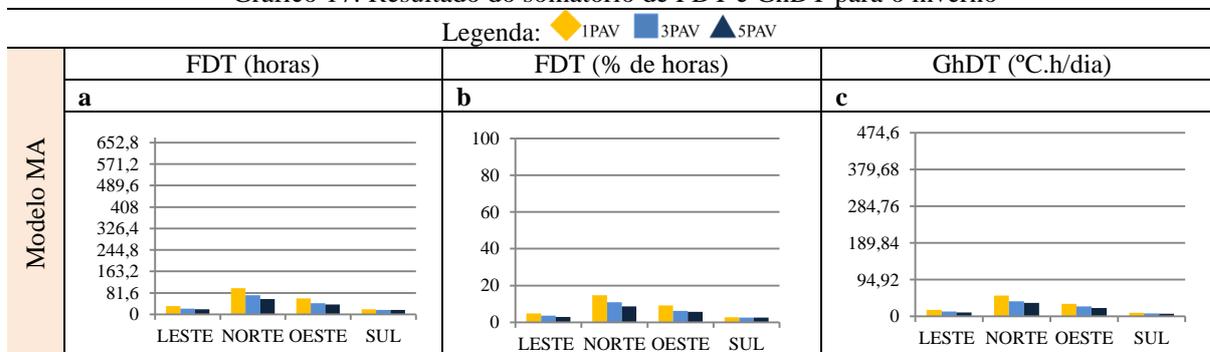
fachada, minimizando o efeito da radiação nas aberturas e da presença de vento na orientação Sudoeste (14,7%). Salientando que neste período as temperaturas são baixas.

A pior situação de desempenho foi observada no 1º pavimento da orientação Norte, pelos mesmos fatores mencionados para a estação do outono, ou seja, grande incidência solar, em todo o dia e ausência do vento frequente, aumentando a temperatura interna.

## MODELO P1 E MODELO P2

O modelo P1 e P2 definiram condições de conforto térmico com os valores dos dois indicadores nulos, significando que o tipo de janela proporcionou 100% de desempenho térmico no ambiente.

Gráfico 17: Resultado do somatório de FDT e GhDT para o inverno



Outras possibilidades de propostas de tipos de janelas que contemplam o sombreamento das áreas envidraçadas e a ventilação constante são as principais ações para a obtenção de melhores condições térmicas internas.

### 4.3.4 Primavera

#### I. ANÁLISE DOS NÍVEIS DE FLUTUABILIDADE

#### MODELO MA

Na primavera as condições definidas para o ambiente com o modelo MA (Gráfico 18 – 1a, 1b, 1c, 1d) demonstraram ambiente com desconforto térmico em quase todo o período. Observou que o ambiente indicou três níveis de sensações de desconforto:

- Primeiro: um curto período com desconforto térmico leve e temporário, onde os valores de GhDT foram menores, em um percentual menor de FDT e dias que tenderam a origem, definindo ambientes 100% confortáveis;
- Segundo: correspondendo um grande percentual de dias com desconforto leve, porém frequente, configurando pouca flutuação no nível de desconforto, com um GhDT menor e um FDT com percentuais elevados; e

- Terceiro: determinou um curto período com desconforto intenso e frequente, demonstrando valores elevados de GhDT e de FDT.

## MODELO P1 E P2

Para o modelo P1 e P2 (Gráfico 18- 2a, 2b, 2c, 2d e 3a, 3b, 3c, 3d) indicaram dois níveis de sensações de desconforto:

- Primeiro: um período maior com desconforto térmico leve e temporário, onde os valores de GhDT foram menores, em um percentual menor de FDT e dias que tenderam a origem, definindo ambientes 100% confortáveis;
- Segundo: correspondendo um percentual menor de dias com desconforto leve, porém frequente, configurando pouca flutuação no nível de desconforto, com um GhDT menor e um FDT com percentuais elevados; e

## II. ANÁLISE POR ORIENTAÇÃO

### MODELO MA

Os resultados por orientação do modelo MA foram:

1. Orientações Leste, Norte e Sul (Gráfico 18- 1a, 1b, 1d): observou que os valores de temperatura operativa se mantiveram constantemente acima do limite de conforto e pouca flutuação no nível de desconforto durante o período, classificando o desconforto para estas orientações como sendo de intensidade leve para intenso, porém frequente. Os resultados são semelhantes, porém observa-se que a orientação sul definiu percentuais menores do que as orientações Leste e Norte.
2. Orientação Oeste (Gráfico 18- 1c): obteve resultados acima do limite de conforto com flutuação no nível de desconforto durante todo o período, ou seja, a frequência de desconforto térmico estando entre 50% e 100% observada em quase todos os dias do período, classificando as condições térmicas do ambiente como leve para intenso e frequente e definindo esta orientação com os piores resultados de desempenho.

### MODELO P1

A análise do modelo P1 (Gráfico 18- 2a, 2b, 2c, 2d) para todas as orientações definiram ambientes com desempenho bom, quando comparadas com o modelo MA. O comparativo dos resultados entre as orientações do modelo P1 determinou ambientes termicamente semelhantes e demonstrando que a orientação leste apresentou uma condição melhor de desempenho e a orientação Norte com alguns valores de FDT e GhDT que determinaram um

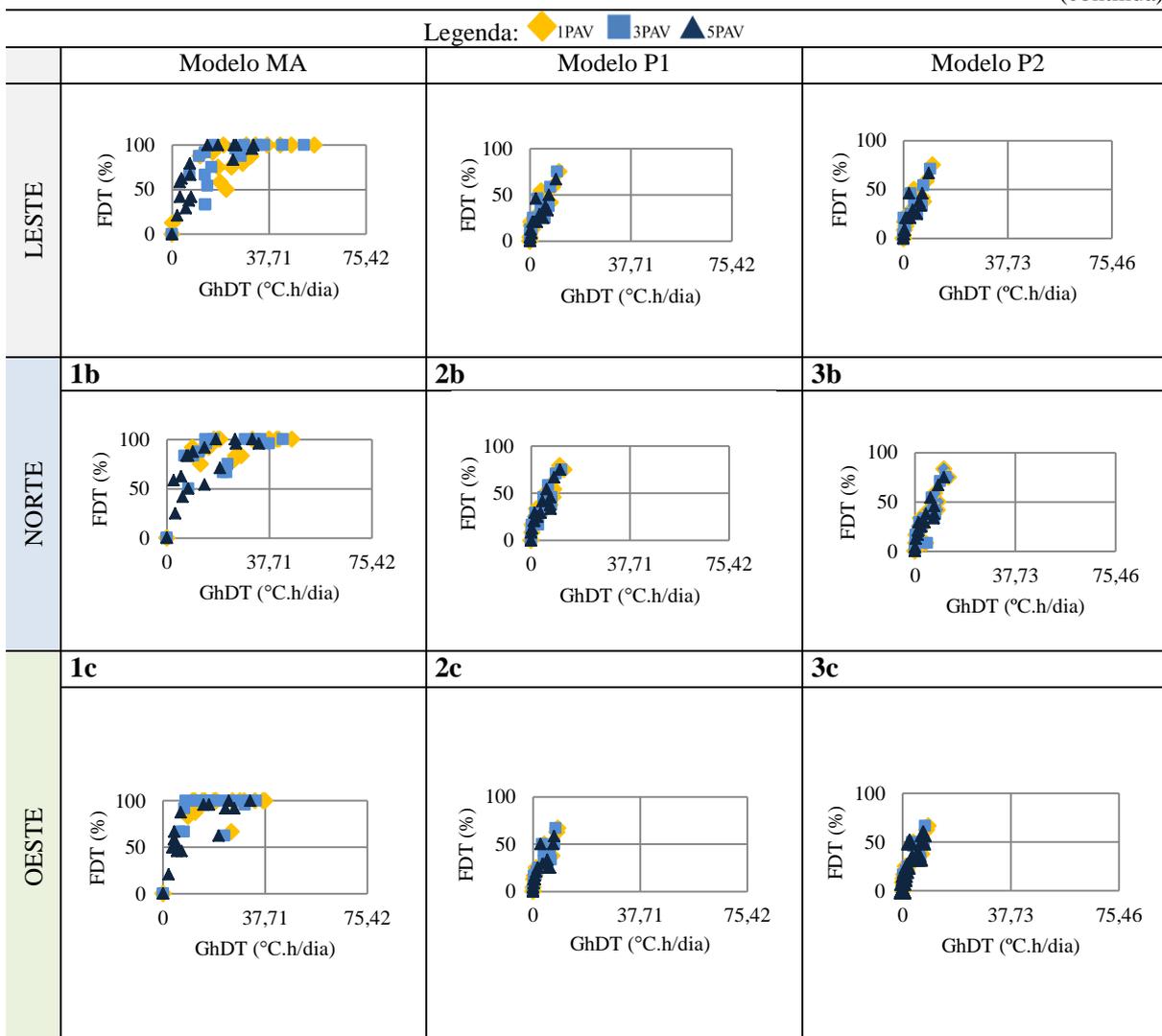
desempenho pior, classificando o conforto para as orientações como sendo de intensidade leve e temporária.

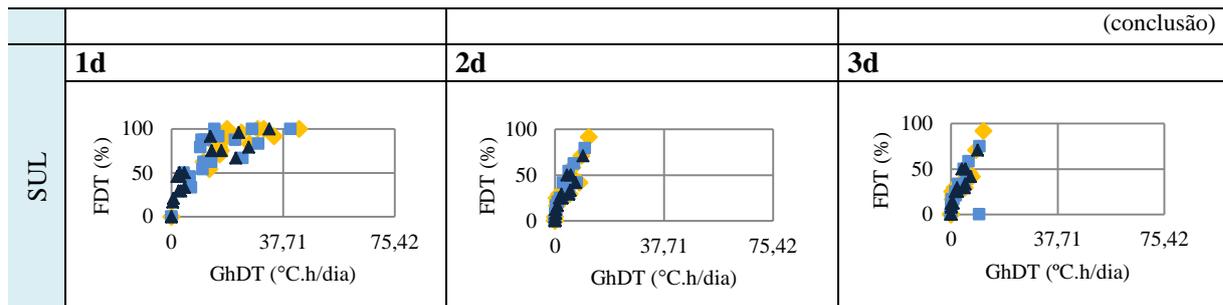
## MODELO P2

A análise do modelo P2 (Gráfico 18- 3a, 3b, 3c, 3d) para todas as orientações definiram ambientes com desempenho bom, quando comparadas com o modelo P1, tendo seu desempenho muito semelhante ao encontrado no modelo P1. O comparativo dos resultados entre as orientações do modelo P2 determinou, também ambientes com desempenho semelhantes e a orientação leste definiu condição melhor de desempenho e a orientação Norte um desempenho pior, classificando o conforto para as orientações como sendo de intensidade leve e temporária.

Gráfico 18: Diagramas de fluatibilidade dos três modelos de janela para a primavera

(continua)





### III. Análise do somatório de FDT e GhDT

O resultado final do somatório de FDT e de GhDT dos modelos P1 e P2 de janela definiram a importância da utilização de componentes como, dispositivos de sombra de redirecionamento do vento e de elementos vazantes para o alcance de ambientes classificados como confortável.

#### MODELO MA

Considerando a obtenção do melhor desempenho do ambiente para o conforto térmico, o somatório de FDT e GhDT para o período da primavera, em relação a cada orientação para o modelo MA (Gráfico 19 - 1a, 1b, 1c) conclui-se que o 5º pavimento obteve melhores sensações de conforto para todas as orientações com um FDT de 52,31% e o GhDT de 171,06°C.h/dia (melhor resultado para a orientação Sul), e o 1º pavimento da orientação Oeste definiu o pior desempenho tendo um FDT de 85,41% e um GhDT de 444,16°C.h/dia em desconforto na primavera. E todas as orientações se mantiveram com percentual de frequência de desconforto e o quantitativo de horas semelhantes.

#### MODELO P1

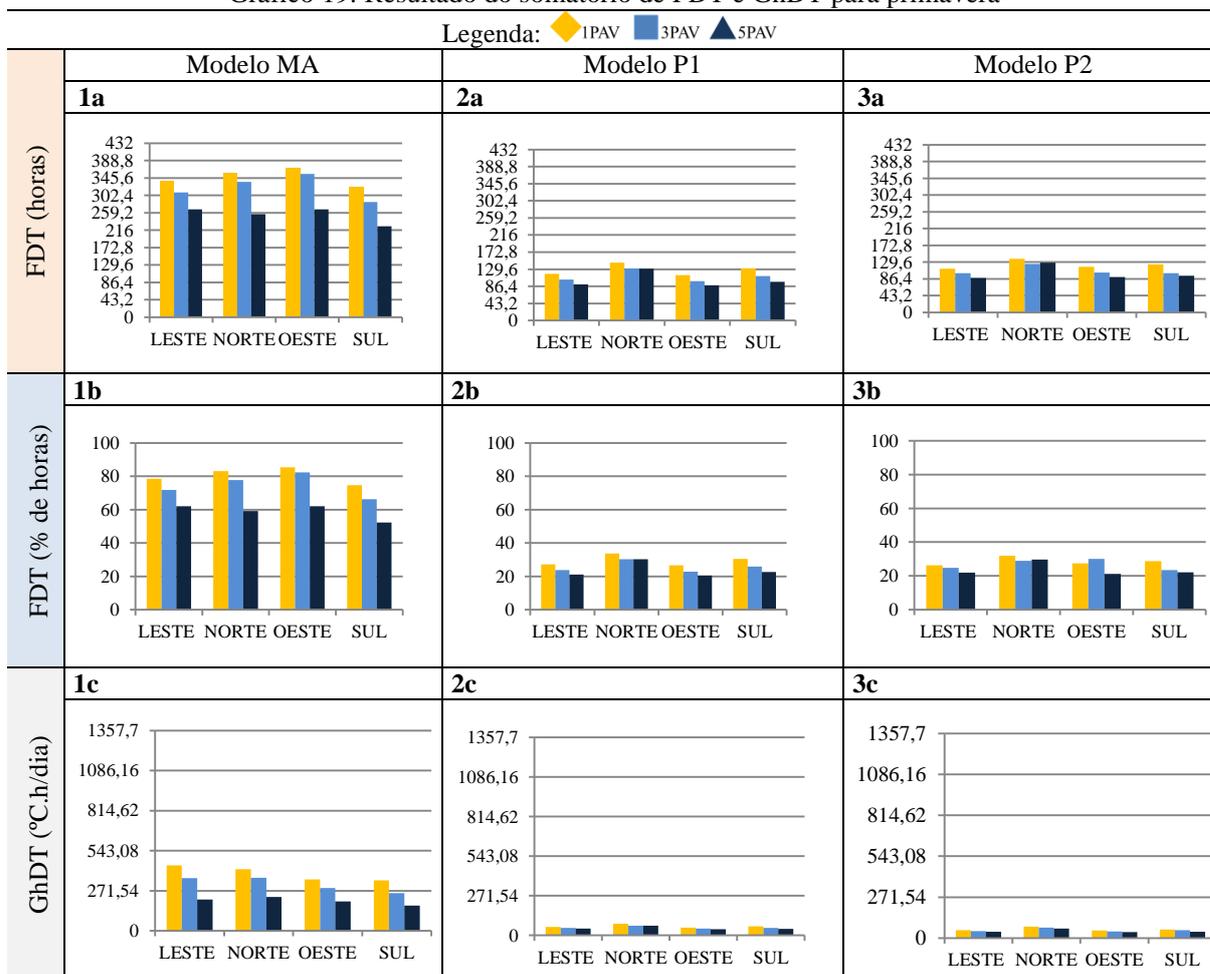
O modelo P1 (Gráfico 19 - 2a, 2b, 2c) definiu condições mais favoráveis ao conforto térmico diminuindo aproximadamente em 50% das horas e dos graus horas de desconforto. Observou-se que o 5º pavimento da orientação Leste obteve resultados mais positivos, diminuindo de 62,03% de horas do modelo MA, para 20,6% de horas em desconforto para o modelo P1, resultando também na diminuição dos graus horas de 199,5°C.h/dia para 41,48°C.h/dia.

O pior desempenho foi observado na orientação Norte no 1º pavimento, com uma frequência de 33,79% e um GhDT de 77,99°C.h/dia. Observou-se que mesmo não tendo a influência direta da incidência solar, o uso dos dispositivos de sombra, elementos permeáveis à ventilação, não foram suficientes para minimizar o desconforto térmico, destacando a adoção de soluções no nível do edifício, bem como nas dimensões e posicionamento das aberturas.

## MODELO P2

Os resultados apresentados nas simulações do modelo P2 (Gráfico 19 - 3a, 3b, 3c) definiram condições mais favoráveis ao conforto térmico, diminuindo os valores do percentual de horas, bem como a quantidade de graus horas em desconforto, quando comparados com o modelo P1. A melhor situação observada foi no 5<sup>a</sup> pavimento da orientação Leste (FDT = 21,06% e GhDT= 40,06°C.h/dia) e a pior situação foi 1<sup>o</sup> pavimento da orientação Norte tendo um FDT de 31,94% e um GhDT de 77,09°C.h/dia em desconforto.

Gráfico 19: Resultado do somatório de FDT e GhDT para primavera



As situações observadas nos resultados do modelo MA relevam a necessidade de intervenção para a melhoria do desempenho térmico do ambiente, como a adoções de componentes na janela. Os resultados do modelo P1 demonstraram que o uso de dispositivos de sombra e elementos vazantes, como venezianas permitindo a ventilação constante, definiram melhores condições para a habitabilidade. As intervenções efetuadas no modelo P2 possibilitou minimizar o desconforto em relação ao P1 e investigar a adoção de soluções com o aumento da área de abertura, e o reposicionamento da mesma.

#### 4.4 DIRETRIZES PARA MODELOS DE JANELAS

Os resultados obtidos na avaliação de desempenho térmico do ambiente, com cada tipo de janela, não considerou elementos arquitetônicos adicionais e segue apresentados no Quadro 8 sua síntese permitiu identificar as situações com melhor e pior desempenho em cada orientação e pavimento.

Quadro 8: Resultados relativos às situações com melhor e pior desempenho (vermelho pior e verde melhor)

Verde = melhor desempenho e vermelho= pior desempenho			MODELO MA	MODELO P1	MODELO P2
NÍVEIS DE FLUTUABILIDADE			leve temporário leve frequente intenso frequente	leve temporário leve frequente	leve temporário leve frequente
ESTAÇÃO	ORIENTAÇÃO	PAVIMENTO	Sul (melhor) Oeste (pior)	Leste (melhor) Norte (pior)	Leste (melhor) Norte (pior)
VERÃO	LESTE	1° PAV			
		3° PAV			
		5° PAV			
	NORTE	1° PAV			
		3° PAV			
		5° PAV			
	OESTE	1° PAV			
		3° PAV			
		5° PAV			
	SUL	1° PAV			
		3° PAV			
		5° PAV			
NÍVEIS DE FLUTUABILIDADE			leve temporário leve frequente intenso frequente	leve temporário	leve temporário
DESEMPENHO POR ESTAÇÃO			Sul (melhor) Norte (pior)	Sul (melhor) Norte (pior)	Sul (melhor) Norte (pior)
OUTONO	LESTE	1° PAV			
		3° PAV			
		5° PAV			
	NORTE	1° PAV			
		3° PAV			
		5° PAV			
	OESTE	1° PAV			
		3° PAV			
		5° PAV			
	SUL	1° PAV			
		3° PAV			
		5° PAV			
NÍVEIS DE FLUTUABILIDADE			leve temporário intenso temporário intenso frequente	100% confortável	100% confortável
DESEMPENHO POR ESTAÇÃO			Sul (melhor) Norte (pior)	Todas as orientações (melhores)	Todas as orientações (melhores)
INVERNO	LESTE	1° PAV			
		3° PAV			
		5° PAV			
	NORTE	1° PAV			
		3° PAV			
		5° PAV			
	OESTE	1° PAV			
		3° PAV			
		5° PAV			
	SUL	1° PAV			
		3° PAV			
		5° PAV			
NÍVEIS DE FLUTUABILIDADE			leve temporário leve frequente intenso frequente	leve temporário leve frequente	leve temporário leve frequente
DESEMPENHO POR ESTAÇÃO			Sul (melhor) Oeste (pior)	Leste (melhor) Norte (pior)	Leste (melhor) Norte (pior)
PRIMAVERA	LESTE	1° PAV			
		3° PAV			
		5° PAV			
	NORTE	1° PAV			
		3° PAV			
		5° PAV			

				(conclusão)
OESTE	1º PAV			
	3º PAV			
	5º PAV			
SUL	1º PAV			
	3º PAV			
	5º PAV			

Para as estações do verão e da primavera, o modelo MA demonstrou piores resultados para a orientação Oeste, confirmado pela grande incidência solar e a ausência de vento. No modelo P1 e P2, utilizando elementos sombreadores e permeáveis à ventilação, a orientação Norte teve o pior desempenho, destacado pela necessidade de alterações no dimensionamento e no posicionamento dos dispositivos de sombra - além dos limites da janela -, ressaltando um estudo mais detalhado da incidência solar nas aberturas.

O desempenho do 1º pavimento está vinculado a diminuição da velocidade do vento para a altura considerada, observou que não houve uma diferença relevante nos valores de GhDT e FDT em relação aos outros pavimentos, não havendo necessidade de definição de estratégias específicas. Em situações em que os valores são relevantes, uma estratégia que pode ser utilizada é a alteração na legislação aplicável, referente ao percentual de área para ventilação em ambientes localizados nesta altura, mantendo as diretrizes de sombreamento, de ventilação permanente e de direcionamento do fluxo de ar. Destaca-se a importância da análise da forma do edifício, da distribuição interna e da implantação do mesmo no sítio urbano, para a obtenção de melhor desempenho térmico dos ambientes, como mencionado por Brown e Dekay (2004), Bitencourt e Cândido (2006) e Lamberts, Dutra e Pereira (2014).

O levantamento de campo possibilitou observar que o desenho urbano utilizado nos bairros pesquisados não permite o uso adequado da forma ideal do edifício – retangular -, tanto em relação à proporcionade das fachadas como em relação à orientação da edificação ao vento dominante, recomendado pelos autores referenciais mencionados. Assim, o desenho urbano tampouco favorece uma distribuição dos espaços internos de forma que o posicionamento das aberturas nas fachadas induza à otimização da ventilação interna.

Também observou-se que as formas do edifício mais utilizadas na região foram de base retangular, posicionado com a menor face para o logradouro público, não sendo esta, necessariamente, a melhor condição para o desempenho térmico dos ambientes. Nesse sentido, amplia-se ainda mais a necessidade de adoção de modelos de janelas que utilizem componentes com funções de permitir a ventilação, sombrear as áreas envidraçadas e direcionar o fluxo de ar para a melhoria do conforto térmico dos ambientes, especialmente de permanência prolongada.

Diante da constatação mencionada, algumas estratégias são passíveis de serem consideradas para a definição de novos modelos de janelas, considerando o melhor desempenho em cada orientação.

#### A. ORIENTAÇÃO LESTE

Considerando que a frequência do vento é para o quadrante Norte e Nordeste os resultados obtidos com os tipos de janela permitiram a ventilação e o redirecionamento do fluxo, maximizando o movimento do ar no interior do ambiente. A ocorrência da incidência solar, para esta orientação, ocorre com ângulos menores, sendo necessária a utilização de dispositivos de sombra na horizontal, que permitem a operacionalização e flexibilidade de movimento de acordo com a incidência solar.

#### B. ORIENTAÇÃO SUL

Mesmo não sendo uma orientação privilegiada pelos ventos dominantes, na cidade de Vitória, as propostas de janelas avaliadas definiram ambientes favoráveis ao desempenho térmico, sendo necessário o sombreamento horizontal, visto que a incidência se projeta de forma quase paralela à fachada, bem como a utilização de direcionadores de fluxo de ar para proporcionar um aumento da circulação do vento no ambiente.

#### C. ORIENTAÇÃO OESTE

Para a latitude de Vitória, a orientação oeste tem grande influência da radiação solar, que pode aumentar a temperatura do ambiente interno da edificação. A estratégia para a escolha de janelas localizadas nesta orientação é a utilização de sombreadores horizontal, assim como elementos arquitetônicos adicionais, considerando que somente as estratégias da janela não podem ser suficientes para um desejado desempenho térmico. Para possibilitar um maior movimento de vento, considerando os ventos predominantes - Norte e Nordeste -, sugere-se que utilize direcionadores de fluxo de ar.

#### D. ORIENTAÇÃO NORTE

Mesmo sendo constatada a frequência de ventos para o quadrante Norte e Nordeste, o desempenho térmico observado na orientação Norte não obteve bons resultados, fato relacionado à latitude de Vitória, onde a incidência solar é maior para esta orientação e ao dimensionamento do dispositivo de sombra inserido na janela não possibilitando um desempenho desejável. E como estratégia a opção é aumentar a dimensão do sombreador

além do limite da largura da abertura, isto configurando soluções diferenciadas para o elemento janela ou adotando soluções de elementos arquitetônicos adicionais.

#### ALTERNATIVAS DE MODELOS DE JANELAS

A partir dos resultados obtidos, foi possível constatar a possibilidade de melhoramentos nas janelas que apresentaram bom desempenho. Considerando as questões estabelecidas nas normas para edifícios residenciais multifamiliares, especialmente os índices mínimos estabelecidos nas normas municipais e nos Planos Diretores Urbanos, os novos modelos ensaiados, levaram em consideração as mínimas condições anteriormente estabelecidas, ou seja:

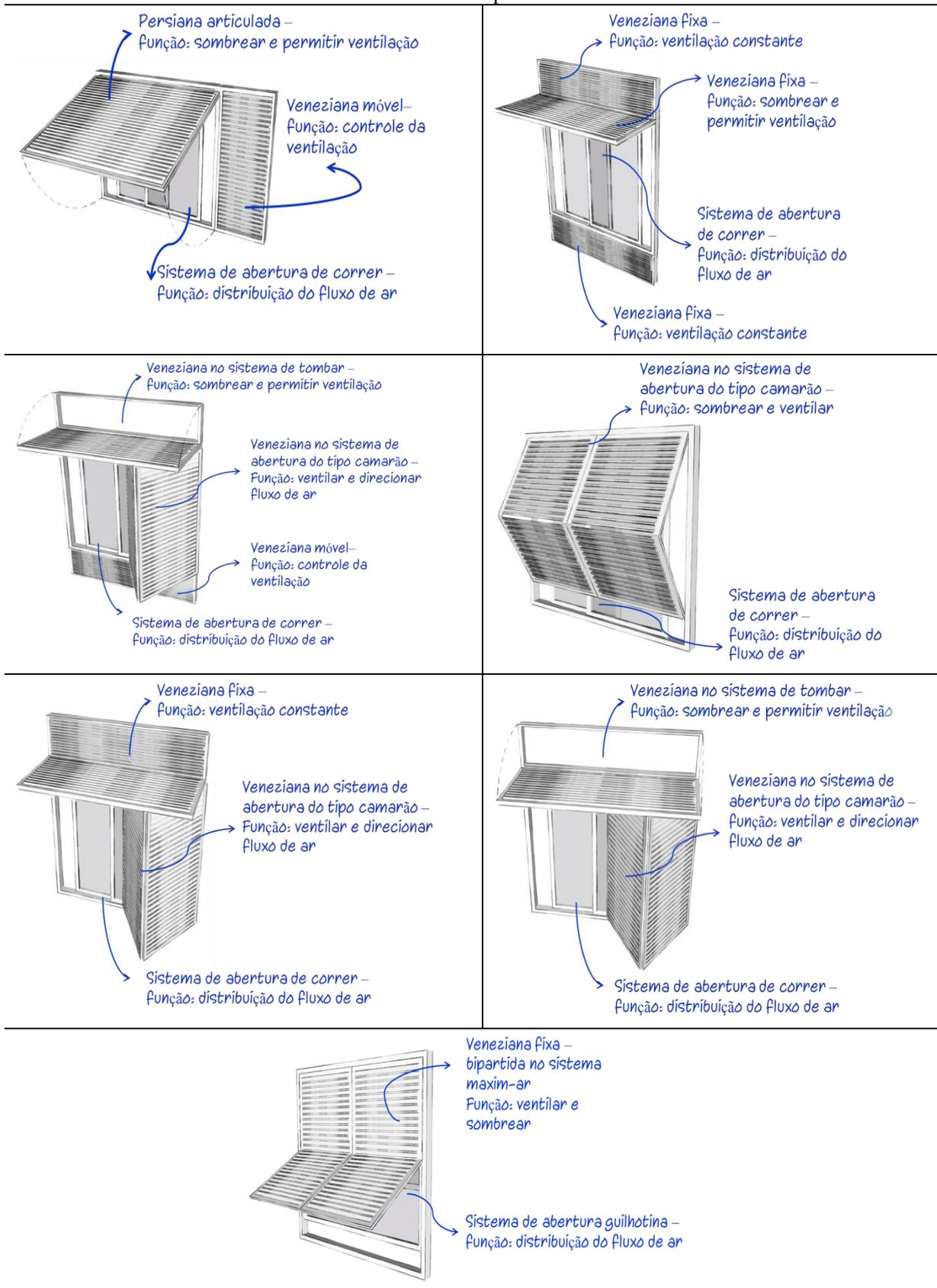
- I. Localização: a janela posicionada no centro da parede, sendo a situação mais utilizada para a arquitetura de edifícios multifamiliares em Vitória;
- II. Dimensões: utilização do dimensionamento mínimo permitido pelas normas de desempenho do Brasil, considerando o percentual de abertura para ventilação e para iluminação;

A CIBSE AM 13 (CHARTERED..., 2000) ressalta a importância da utilização conjunta de caixilhos superiores e inferiores na mesma abertura. Este procedimento amplia as possibilidades de configuração da ventilação durante todo o ano, de acordo com maleabilidade e possibilidade de operação inerente à condição de proporcionar melhor aproveitamento da ventilação natural. A utilização da abertura superior tem a função de ventilar à noite, e também de proporcionar a ventilação higiênica nos períodos mais frios, podendo ser utilizada para melhorar a ventilação durante o período diurno.

As aberturas posicionadas mais centralmente, estando localizada na altura do observador, tem a função de proporcionar ventilação de conforto, possibilitando maior controle e operação. As aberturas inferiores tem a função de proporcionar uma renovação do ar nas situações onde não está ocorrendo à ventilação cruzada.

No processo de investigação, foram desenvolvidos outros modelos de desenhos de janelas possíveis de serem utilizados em edifícios multifamiliares, tendo como base as características positivas identificadas anteriormente e apresentadas na Figura 35.

Figura 35: Desenhos adicionais de janelas considerando os resultados obtidos nas simulações e de acordo com as normas pertinentes



A tese possibilitou demonstrar que o processo evolutivo da edificação estabeleceu diferentes condições de uso das janelas, sendo adicionadas funções inerentes aos temas de salubridade, qualidade do ar, iluminação, estética, entre outros.

As avaliações de desempenho térmico do ambiente dormitório 1 demonstraram que certos tipos de janelas contribuem significativamente para a melhoria das condições internas do ambiente, quando se considera o conforto térmico do usuário por meio da ventilação natural.

Entretanto, concluiu-se que somente o elemento janela não é possível de proporcionar condições favoráveis ao conforto térmico para 100% das situações, quando se considera a ventilação natural como a única estratégia passiva. Comprovou-se ainda, a importância da utilização das estratégias bioclimáticas na fase de projeto, bem como se verifica a necessidade de alterações nas normativas de desempenho assim como, na legislação urbanística, com o fim de assegurar a qualidade do ambiente e a eficiência energética nas edificações.

#### 4.5 CONSIDERAÇÕES DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados demonstraram que a evolução das edificações foi caracterizada entre outros fatores, pela adoção de componentes construtivos com o mínimo de propriedades térmicas, que derivam de conceitos que primem pelo menor custo por metro quadrado e desconsideram em muitos a qualidade do ambiente e o bem estar do usuário. Alguns itens a considerar:

- Levantamento de campo

O resultado da pesquisa junto aos bairros com maiores investimentos imobiliários na cidade de Vitória demonstrou o uso de modelos de janela com quadro único, em alumínio natural e vidro incolor e sistema de correr com duas folhas. Ressalta-se que, de acordo com Nico-Rodrigues (2008), Associação..., (2013) e Brasil..., (2010), o tipo de janela mais adequada para climas quente e úmido tem como premissas básicas, a utilização de elementos vazantes e móveis, que permitem o controle da privacidade, do vento, da chuva, da irradiação solar e da iluminação natural, bem como a importância da porosidade dos ambientes, para maximizar o fluxo de ar.

De acordo com o capítulo 2 e as diretrizes bioclimáticas da Região 8, onde está inserida a cidade de Vitória, os modelos de janelas para as regiões de clima Tropical Litorâneo, necessitam de componentes que possibilitem a renovação do ar, visando a melhoria do conforto térmico.

- Simulações

As simulações possibilitaram verificar as condições de conforto em ambientes ventilados naturalmente e demonstraram que a intensidade de desconforto está relacionado também à ventilação noturna no ambiente, considerando que o tipo de janela mais comumente utilizada nas edificações multifamiliares, modelo MA, não possui nenhum componente que possibilite a renovação do ar, quando fechada. O fechamento noturno das janelas, para a realidade da região considerada, está vinculado a dois fatores fundamentais: segurança e entrada de insetos. Para esse estudo essas situações foram consideradas, visto que a adoção de telas e grades não são soluções utilizadas com frequência nos bairros pesquisados.

Os resultados com o modelo MA revelaram a necessidade de intervenções significativas para a melhoria do desempenho térmico do ambiente, como por exemplo, a adoção de dispositivos de sombra e elementos vazantes, alterações nas dimensões e na localização e utilização de sistemas de aberturas diferenciados.

O modelo P1 demonstrou que a utilização de dispositivos de sombra para a proteção da janela da radiação solar e a utilização dos elementos vazantes foram fatores importantes na melhoria das condições internas do ambiente. Verificou-se ainda, que a possibilidade da ventilação noturna foi um fator adicional que auxiliou na melhoria das condições de habitabilidade do ambiente.

O modelo P2 possibilitou averiguar os resultados com a adição de outro componente, objetivando o redirecionamento do vento que alcançou um pequeno percentual de melhoria e enfatizou a necessidade do uso de componentes que permitem a permeabilidade do vento.

Em síntese, pode-se afirmar que a utilização de soluções como o direcionamento das janelas para as melhores condições de ventilação e inserção de componentes que auxiliem no sombreamento e na captação do vento são algumas das soluções adequadas para alcance de condições térmicas internas melhores, principalmente nas estações em que as temperaturas são mais elevadas.

- Metodologia de avaliação de desempenho

A proposta de método de avaliação apresentada na pesquisa confirmou a eficácia da avaliação dos níveis de desconforto térmico do ambiente considerando a temperatura operativa e a temperatura de conforto adaptativo prescrito pela ASHRAE 55 como fatores de análises. O método proposto simplificou a visualização dos resultados tornando-os mais fácil de serem interpretados.

# 5

# CONSIDERAÇÕES

# FINAIS

*“Es sobre la compleja base de innovación y de experiencia arquitectónica y dentro de la dilatada serie de aplicaciones, que es preciso configurar la ventana moderna”*

(BECKETT; GODFREY, p. 139, 1978).



## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Visando aprofundar o conhecimento sobre o desempenho térmico com ênfase na melhoria das condições de confortabilidade em ambientes residenciais na cidade de Vitória, a pesquisa investigou a influência de tipos diferentes de janelas no desempenho térmico de ambientes ventilados naturalmente em edificações multifamiliares.

A estratégia para a definição de qual(is) tipo(s) de janela(s) tem maior ou menor influência no desempenho térmico do ambiente, determinou como premissa o modelo mais comumente utilizado, definindo-o como referência para a proposição de novos modelos que permitissem a utilização da ventilação natural, visto que para a região de Vitória as diretrizes determinam o uso de condicionantes passivos para amenizar o desconforto.

Considerando o crescente aumento das edificações residenciais multifamiliares (PEREIRA; GHISI, 2011) e as características térmicas dos materiais utilizados em sua maioria, destaca-se a preocupação das normas de desempenho em determinar diretrizes e condições para definir ambientes termicamente confortáveis e consequentemente minimizar o uso de equipamentos para refrigeração.

A eliminação dos elementos das janelas, ditos essenciais para a qualidade ambiental, constatada por meio de sua evolução, negligenciou uma das condições primordiais para a habitabilidade do ocupante, os níveis satisfatórios de conforto. Esta tese investigou a importância do uso de tipos de janelas que proporcionem a circulação e renovação do ar no interior de ambientes residenciais.

A utilização da ventilação natural nas edificações residenciais multifamiliares não está vinculada somente as condicionantes de projeto definidas nos códigos de obras municipais, Planos de Desenvolvimento Urbano, nas normas de desempenho e nos regulamentos de certificação energética. A eficiência do edifício para possibilitar melhores condições de conforto está condicionada, também, aos materiais construtivos utilizados nas envoltentes - paredes e coberturas; ao uso de equipamentos e ações adaptativas adotadas pelos usuários para definir melhores níveis de conforto e ao modelo adequado de janela.

O aperfeiçoamento dos modelos de janelas para atender a necessidade de redução no consumo de energia deve considerar, entre outros aspectos, as dimensões apropriadas para permitir o conforto térmico, bem como conforto visual e a segurança; a localização da janela para a

obtenção da melhor ventilação natural; e a composição adequada de elementos permeáveis à ventilação, dispositivos de sombra, tipos de vidros e de material e sistemas de abertura.

Após entendimento dos conceitos primordiais e aplicação dos procedimentos metodológicos, algumas constatações puderam ser entendidas, desde o levantamento de campo até a aplicação de uma nova metodologia de avaliação de desempenho que resultou na classificação do nível de confortabilidade.

## 5.1 ATENDIMENTO AOS OBJETIVOS PROPOSTOS

### A- PERGUNTA DA TESE

Quanto à resposta da pergunta da tese, os estudos desenvolvidos concluíram que a maioria dos modelos de janelas comercializadas em Vitória, não possuem elementos que permitem o favorecimento da ventilação constante, bem como nenhuma das diretrizes mencionadas nas normas de desempenho, visto que a adoção de modelos somente com vidros e sem dispositivos de sombra são atitudes mais comum, segundo levantamento de campo efetuado.

A necessidade de ventilação cruzada, ventilação noturna e sombreamento das áreas envidraçadas não são privilegiados pelos tipos observados, onde definiu claramente a necessidade de janelas que amenizem as condições internas ocasionadas pelas altas temperaturas.

### B – HIPÓTESE

Os resultados obtidos por meio das simulações afirmaram as condições descritas para a comprovação da hipótese e provou que é possível o uso de elementos inseridos na janela para proporcionar melhores condições de conforto térmico, melhorando assim, o desempenho do ambiente. A hipótese foi validada pela análise de três propostas de modelos de janelas, onde se pode afirmar que outras propostas de modelos também são possíveis, especialmente quando combinadas os diversos elementos avaliados na pesquisa.

A determinação do procedimento de levantamento de campo, a simulação e posterior avaliação dos dados, evidenciou a necessidade de dispositivos de sombra e de direcionadores de fluxo de ar, bem como elementos permeáveis à ventilação, demonstrando por meio do método proposto, a eficiência para a melhoria das condições térmicas internas. Adicionalmente, as alterações promovidas no projeto arquitetônico para o aumento da ventilação natural no interior dos ambientes, tornarão válidas e apropriadas outras soluções de modelos de janelas.

### C- OBJETIVOS

O alcance do objetivo geral foi determinado pelos procedimentos metodológicos propostos, que permitiram o alcance dos resultados de forma satisfatória. A análise dos modelos de janelas tendo como referência o modelo mais comumente utilizado proporcionou avaliar as condições térmicas do ambiente e concluir que a incidência solar nas áreas desprotegidas, ou seja, com panos envidraçados, determinaram ambientes com níveis de sensações de desconforto intenso e frequente e que a adoção de dispositivos de sombra e a possibilidade de manter a ventilação de conforto, higiênica e noturna definiram ambientes com níveis menores de desconforto.

As análises efetuadas para o ambiente com apenas uma abertura voltada para o exterior e tendo como recurso para a efetivação da ventilação as frestas da porta de acesso ao quarto e a eventual abertura durante o período noturno e diurno – situação comumente encontrada na área de estudo – possibilitou averiguar que componentes adicionais à janela favorecem ambientes mais confortáveis, quando comparados a janelas sem a possibilidade de controle da ventilação e sem dispositivos de sombreamento.

Os resultados obtidos na avaliação de desempenho para estação do Verão, onde a temperatura de conforto oscilou entre 28,27°C (menor valor fev.) e 28,61°C (maior valor dez.) registraram que o uso de janelas com dispositivos de sombra e de ventilação permanente, possibilitaram a diminuição dos dias em desconforto de 17 dias (409h) registrado no modelo MA, para 9 dias (216h) para o modelo P2, ressaltando que o total de dias analisados para o período foi de 22.

Na estação do Outono, com temperatura de conforto entre 27,11°C (menor valor jun.) e 28,55°C (maior valor mar.) os resultados definiram para o modelo MA, 6,6 dias (159h) em desconforto e com a utilização do modelo P2, as condições definiram somente 1,5 dias (36h) em desconforto, demonstrando que a utilização de janelas com dispositivos adequados às condições climáticas foi decisiva para proporcionar melhor conforto ao usuário.

Para a região da cidade de Vitória o período do Inverno é caracterizado com temperaturas de conforto mais baixa (27,03°C – menor valor ago. e 27,23°C – maior valor jul.), quando comparadas as temperaturas do Verão e da Primavera. Os valores obtidos para o modelo de janela MA demonstraram poucos dias em desconforto (3 dias, ou seja, 73h) e com a utilização das soluções propostas para o modelo P1 e P2 definiram ambientes 100% confortáveis.

Para a estação da Primavera, as temperaturas de conforto observadas foram entre 27,14°C (menor valor set.) e 28,61°C (maior valor dez.) definindo ambientes desconfortáveis com o uso de janelas sem possibilidade de ventilação constante e dispositivos de sombra (15 dias = 369h, de um total de 18 dias analisados) e que a utilização de componentes adicionais à janela, como no modelo P1 e P2, os dias em desconforto foram de 5,5 equivalendo à 138h.

A metodologia de avaliação demonstrou que a utilização de modelos de janelas diferentes determinou melhorias no desempenho térmico e nas condições de conforto em todas as estações do ano. Os valores de FDT e GhDT foram indicadores importantes na classificação das sensações térmicas obtidas com cada modelo. A avaliação horária e diária das alterações da temperatura operativa comprovou a eficiência de cada alternativa utilizada nas janelas e enfatizou a necessidade de elementos adicionais para a proteção de áreas envidraçada e que possibilite ventilação constante.

## 5.2 PRODUTO DA PESQUISA

A metodologia de pesquisa proposta para a obtenção dos resultados pretendidos foi desenvolvida em etapas, de maneira sequencial que culminou na efetivação dos objetivos pretendidos, proporcionando o aperfeiçoamento contínuo e resultando em quatro produtos principais:

- Caracterização das janelas utilizadas nos edifícios residenciais multifamiliares, localizados nas regiões com grande potencial de crescimento imobiliário em Vitória ES;
- Identificação de modelos de janelas para edifícios residenciais multifamiliares, priorizando a ventilação natural e o melhor desempenho térmico para ambientes de permanência prolongada.
- Método de avaliação de desempenho considerando o desconforto térmico, contribuindo para a definição de soluções para o elemento janela e para o edifício;
- Diretrizes para a definição de novos modelos de janelas, ponderando os resultados obtidos da análise comparativa dos modelos propostos.

Considerando:

- A necessidade de edifícios residenciais demandarem menor consumo de energia e proporcionarem condições adequadas ao conforto térmico para os usuário;
- A questionável qualidade construtiva das edificações residenciais atuais, bem como sua implantação e conseqüente distribuição espacial dos ambientes internos;

- Os tipos de janelas comumente adotados nas edificações residenciais multifamiliares recentes; e
- As normativas de desempenho térmico, os regulamentos para a certificação energética de edificações residenciais e os métodos de avaliação utilizados como referência de qualificação,

Destaca-se a importância da pesquisa e suas contribuições para a definição de novos projetos de edifícios residenciais multifamiliares em Vitória, assim como possíveis alterações nos existentes e no desenvolvimento de produtos relacionados à janela. Neste sentido, se enfatiza os elementos da janela, como as venezianas e persianas projetantes, os sistemas de aberturas, e os dispositivos de sombreamento.

Destaca-se a possível aplicação do método proposto de avaliação de desempenho térmico em edificações com usos diversos e em diferentes regiões climáticas, considerando as diretrizes definidas para ambientes ventilados naturalmente ou climatizados artificialmente, objetivando analisar as diferentes soluções utilizadas em cada projeto. No entanto, ressalta-se que a replicabilidade do método proposto prescinde da utilização de dados específicos ao local analisado, tais como arquivos climáticos, estratégias passivas de condicionamento ambiental (no caso de ambientes ventilados naturalmente); modelos de referência, temperaturas operativas e de conforto.

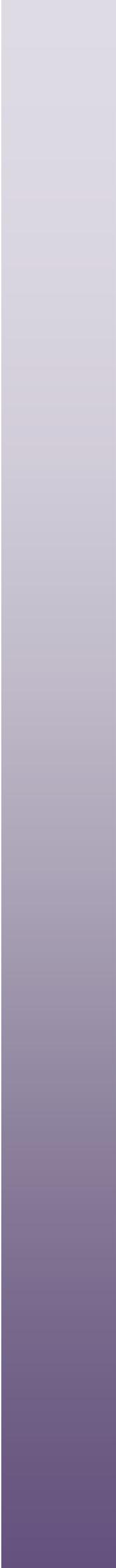
### 5.3 TRABALHOS FUTUROS E DESENCADEAMENTO DA TESE

No processo de investigação diversas questões e aspectos adicionais foram observados. Com base nos resultados obtidos e nos estudos descritos na tese, algumas sugestões de prosseguimento da pesquisa são sugeridas, considerando ambientes residenciais multifamiliares ventilados naturalmente:

- Seguindo o método de levantamento de campo efetuado nas áreas de maior crescimento imobiliário, sugere-se:
  - A. Caracterização das janelas utilizadas nas edificações residenciais localizadas nos bairros já consolidados, ou seja, com mais de 50 anos; e
  - B. Avaliação dos componentes usuais neste período e compara-los aos utilizados nas edificações recentes, objetivando identificar os níveis de desconforto térmico definido por cada sistema.

- A partir da metodologia de avaliação do desempenho térmico considerando o desconforto térmico ocasionado pela influência de tipos de janelas diferentes, propõe-se:
  - A. Definição de valores máximos mensais de GhDT, considerando as variações horárias de temperatura operativa;
  - B. Estudos mais detalhados de sub-níveis de satisfação para o diagrama de fluutuabilidade, levando em consideração a frequência e o graus horas de desconforto térmico; e
  - C. Aplicação do método na avaliação do desempenho térmico dos ambientes com sistemas construtivos diferentes, considerando tipos de materiais e técnicas construtivas.
- Considerando os resultados obtidos por meio das simulações, realizadas para os três tipos de janelas e a utilização da metodologia proposta, sugere-se:
  - A. Avaliar comparativamente ambientes diferentes da edificação com soluções diversas, tanto para o elemento janela, como para o edifício;
  - B. Avaliar soluções diversas de modelos de janelas e opções de simulações paramétricas com os elementos da janela;
  - C. Avaliação do custo *versus* eficiência energética em relação aos diferentes tipos de janelas.

O estudo do elemento janela é o início para o entendimento da necessidade humana de manter um equilíbrio entre o espaço externo e interno, mantendo suas funções primordiais de conforto (térmico, tátil, antropodinâmico, visual e psicológico), de economia, de significância, bem como, de estética e com conceitos elementares de sustentabilidade.



# REFERÊNCIAS



## REFERÊNCIAS

- 1 ABURDENE, M.F. **Computer simulation of dynamic systems**. Wm. C. Brown Publishers: Dubuque, IA, 1988.
- 2 ABRAVIDRO. Associação Brasileira de Distribuidores e Processadores de Vidros Planos. 2012. Disponível em:< <http://www.abraavidro.org.br/>>. Acesso em: 10 out. 2014.
- 3 AGUA FURTADO. **Edifício Louveira**. Disponível em:<<http://aguafurtado.blogspot.com.br/2008/03/edifcio-louveira.html>>. Acesso em: 10 set. 2014.
- 4 AKUTSU, M.; VITTORINO, F. Ventilação. **Publicações IPT – SP**, 1995.
- 5 ALBATICI, R.; PASSERINI, F. Bioclimatic design of buildings considering heating requirements in Italian climatic conditions. A simplified approach. **Building and Environment**, v. 46, p. 1624-1631, 2011. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036013231100045X#>>. Acesso em: 10 set. 2014.
- 6 ALLOCCA, C.; CHEN, Q.; GLICKSMAN, L. R. Design analysis of single-sided natural ventilation. **Energy and Buildings**, v. 35, p. 785-795, 2003. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778802002396>>. Acesso em: 10 set. 2014.
- 7 ALSUL. **Esquadria de alumínio e ferro**. Disponível em:<<http://www.alsulesquadrias.com.br/portfolio.php>>. Acesso em: 10. Set. 2014.
- 8 ALVES-MAZZOTTI, A. J.; GEWANDSZNAJDER, F. **O método nas ciências naturais e sociais: pesquisa qualitativa e quantitativa**. Pioneira Thomson Learning: São Paulo, 2001.
- 9 AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS 62. **ASHRAE 62** – Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. Atlanta, 2001. Disponível em:< [http://www.grntch.com/images/ASHRAE\\_Standard62-01\\_04\\_.pdf](http://www.grntch.com/images/ASHRAE_Standard62-01_04_.pdf)>. Acesso em 15 dez. 2014.
- 10 AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS 55. **ASHRAE 55** - Thermal Environmental Conditions for human Occupancy. Atlanta, 2004.
- 11 AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS 140. **ASHRAE 140** - Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs, 2001. Disponível em:< [https://www.ashrae.org/.../2004715124811\\_347.pdf](https://www.ashrae.org/.../2004715124811_347.pdf)>. Acesso em: 10 nov. 2013.

- 12 ANDERSEN, R.; FABI, V.; TOFTUM, J.; CORGNATI, S. P.; OLESEN, B. W. Window opening behaviour modelled from measurements in Danish dwellings. **Building and Environment**, v. 69, p.101-113, 2013. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132313001960>>. Acesso em: 10 set. 2014.
- 13 ANDREASI, W.; LAMBERTS, R.; CÂNDIDO, C. Thermal acceptability assessment in buildings located in hot humid regions in Brazil. **Building and Environment**, v.45, p.1225-1232, 2010. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132309003308>>. Acesso em: 10 set. 2014.
- 14 ARAÚJO, V. M. D. Parâmetros de conforto térmico para usuários de edificações escolares no litoral nordestino brasileiro. 1996. 179f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.
- 15 ARCOWEB. **Prêmio AsBEA 2004**: Prêmio Roberto Cláudio dos Santos Aflalo. Disponível em:<<http://arcoweb.com.br/projetodesign/especiais/premio-asbea-2004-premio-roberto-claudio-dos-santos-aflalo-01-12-2004>>. Acesso em: 10 set. 2014.
- 16 ARQUITETANDO, 2009. **Tratados Renascentistas**. Disponível em:<<http://arquitetandoblog.wordpress.com/2009/04/06/tratados-renascentistas/>>. Acesso em: 10 set. 2014.
- 17 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.820**: Caixilho para edificação - Janela. Rio de Janeiro, 1989.
- 18 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.
- 19 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.721**: Avaliação de custos de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edilícios. Rio de Janeiro, 2006.
- 20 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.575**: Edificações Habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.
- 21 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4**: Edificações habitacionais – Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas. Rio de Janeiro, 2013a.
- 22 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de norma - **CEE-191. 1º Projeto 191.000.01-001/6. ABNT/CEE – 191. Parte 6**: Esquadrias para edificações – Requisitos e classificação, métodos de ensaio, instalação e manutenção. Rio de Janeiro, 2014.

- 23 AVASOO, D.; ANDERSSON, A. **WSP Environmental**. 2003. Disponível em:<[http://www.energifonster.nu/backnet/media\\_archive/original/3049f993f8](http://www.energifonster.nu/backnet/media_archive/original/3049f993f8)>. Acesso em: 10 set. 2014.
- 24 BALANÇO ENERGÉTICO - 2013. Disponível em:<[https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2014.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2014.pdf)>. Acesso em: 10 set. 2014.
- 25 BATISTA, N. N.; LA ROVERE, E. L.; AGUIAR, J. C. R. Energy efficiency labeling of buildings: An assessment of the Brazilian case. **Energy and Buildings**, v. 43, p. 1179–1188, 2011. Disponível em :<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037877881000407X>>. Acesso em: 10 set. 2014.
- 26 BECKETT, H. E.; GODFREY, J. A. **Ventanas – función, diseño e instalación**. Editora Gustavo Gili, S. A: Barcelona, 1978.
- 27 BITTENCOURT, L. **Ventilation as a cooling resource for warm humid climates: An investigation on perforated block wall geometry to improve ventilation inside low-rise buildings**. 1993. 314 f. Tese (Doutorado em Arquitetura). Architectural Association Graduate School. London, 1993.
- 28 BITTENCOURT, L; CÂNDIDO, C. **Introdução à ventilação natural**. EDUFAL: Maceió, 2006.
- 29 BITTENCOURT, L; CÂNDIDO, C. **Ventilação natural em Edificações**. PROCEL EDIFICA – EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES: Rio de Janeiro, 2010.
- 30 BOGO, A.; PIETROBON, C. E.; BARBOSA, M. J.; GOULART, S.; PITTA, T.; LAMBERTS, R. Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico. **Relatório técnico interno 02**. Núcleo de Pesquisa em Construção, Universidade Federal de Santa Catarina, 1994.
- 31 BONTE, M.; THELLIER, F.; LARTIGUE, B. Impact of occupant’s actions on energy building performance and thermal sensation. **Energy and Buildings**, v. 76, p. 219–227, 2014. Disponível em :<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778814002047>>. Acesso em: 10 set. 2014.
- 32 BRAGER, G. S.; DE DEAR, R. Climate, Comfort, & Natural Ventilation: A new adaptive comfort standard for ASHRAE Standard 55. Center for Environmental Design **Research Center for the Built Environment**, 2001. Disponível em:<<http://web.stanford.edu/group/narratives/classes/08-09/CEE215/ReferenceLibrary/CBE%20Research%20Thermal%20Comfort/ASHRAE%20Adaptive%20Thermal%20Comfort%20Standard.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2014.

- 33 BRASIL. Lei 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 18 de outubro. Disponível em:< <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2001/lei-10295-17-outubro-2001-408176-publicacaooriginal-1-pl.html>. Acesso em: 14 de set. 2014.
- 34 BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - INMETRO. Portaria n. 449, 25 de novembro de 2010. **Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R)**. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em:< <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001788.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2014.
- 35 BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - INMETRO. Portaria n. 372, 17 de setembro de 2010. **Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C)**. Rio de Janeiro, 2012a. Disponível em:< <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001788.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2014.
- 36 BRASIL. **PROCEL info**. Disponível em:< <http://www.procelinfo.com.br/main.asp>>. Acesso em: 10 set. 2013.
- 37 BROWN, W. C.; RUBERG, K. **Window performance factors**. National Research Council: Canada, 1988.
- 38 BROWN, G. Z.; DEKAY, M. **Sol, Vento 7 Luz estratégias para o projeto de arquitetura**. Bookman, 2ª ed.: Porto Alegre, 2004.
- 39 CÂNDIDO, M. C.; DE 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. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036013231000243X>>. Acesso em: 10 set. 2014.
- 40 CÂNDIDO, M. C.; LAMBERTS, R.; DE DEAR, R.; DE VECCHI, R. Towards a Brazilian standard for naturally ventilated buildings: guidelines for thermal and air movement acceptability. **Building Research e Information**, v. 39:2, p. 145-153, 2011a.
- 41 CÂNDIDO, M. C. **Indoor air movement acceptability and thermal comfort in hot-humid climates**. 2011. 180 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2011b.

- 42 CÂNDIDO, M. C.; DE DEAR, R. From thermal boredom to thermal pleasure: a brief literature review. **Ambiente Construído**, v. 12, n. 1, p. 81-90, jan./mar. 2012. Disponível em: <<http://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/23615>>. Acesso em: 10 set. 2014.
- 43 CARLUCCI, S.; PAGLIANO, L. A review of indices for the long-term evaluation of the general thermal comfort conditions in buildings. **Energy and Buildings**, v. 53, p. 194–205, 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778812003027>>. Acesso em: 10 set. 2014.
- 44 CARMODY, J.; SELKOWITZ, S., HESCHONG, L. **Residential windows – A guide to new technologies and energy performance**. 1 ed., W. W. Norton & Company: New York, 1996.
- 45 CARMODY, J.; SELKOWITZ, S., LEE, E. S.; ARASTEH, D.; WILLMERT, T. **Window systems for high-performance buildings**. W. W. Norton & Company: New York, 2004.
- 46 CHOW, T.; ZANG, L.; FONG, K.; CHAN, L.; HE, M. Thermal performance of natural airflow window in subtropical and temperate climate zones – A comparative study. **Energy Conversion and Management**, v. 50, p. 1884–1890, 2009. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890409001666>>. Acesso em: 10 set. 2014.
- 47 CHARTERED INSTITUTION OF BUILDING SERVICES ENGINEERS - **Daylighting and Window Design- Lighting Guide LG10**: 1999.
- 48 CHARTERED INSTITUTION OF BUILDING SERVICES ENGINEERS – **Mixed mode Ventilation AM 13**: 2000.
- 49 CLIMATE-DATA-ORG. **Clima Vitória**. Disponível em: <<http://pt.climate-data.org/location/2181/>>. Acesso em: 10 nov. 2014.
- 50 COISAS DA ARQUITETURA. **Edifícios marcantes no centro do Rio de Janeiro**. Disponível em: <<http://coisasdaarquitetura.wordpress.com/2011/06/20/edificios-marcantes-no-centro-do-rio-de-janeiro/>>. Acesso em: 10 set. 2014.
- 51 CRAWLEY, D. B.; LAWRIE, L. K.; WINKELMANN, F. C.; BUHL, W. F.; HUANG, Y. J.; PEDERSEM, C. O.; STRAND, R. K.; LIESEN, R. J.; FISHER, D. E.; WITTE, M. J.; GLAZER, J. Energy Plus: Creating a New-Generation Building Energy Simulation Program. **Energy & Building Journal**, v. 33, n. 4, p. 319-331, 2001. Disponível

em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037877880001146>>. Acesso em: 10 set. 2014.

52 CUNHA, E. G; PINHEIRO, A. B; NEGRI, L; TURELLA, T; MARCHIORI, T. **Elementos de arquitetura de climatização natural: método projetual buscando a eficiência nas edificações**. Masquatro: Porto Alegre, 2006.

53 DE DEAR, R.; FOUNTAIN, M. Field experiments on occupant comfort and office thermal environments in a hot-humid climate. **ASHRAE Trans**, v. 100(2), p. 457-475, 1994. Disponível em:<<http://www.cbe.berkeley.edu/research/other-papers/de%20Dear%20-%20Fountain%201994%20Field%20experiments%20on%20occupant%20comfort%20and%20office%20thermal%20environments%20in%20a%20hot-humid%20climate.pdf>>. Acesso em 10 out. 2014.

54 DE DEAR, R.; BRAGER, G.; COOPER, D. Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. **Final report ASHRAE RP-884**; 1997. Disponível em:<<http://www.cbe.berkeley.edu/research/other-papers/de%20Dear%20-%20Brager%201998%20Developing%20an%20adaptive%20model%20of%20thermal%20comfort%20and%20preference.pdf>>. Acesso em 10 nov. 2014.

55 DE DEAR, R.; BRAGER, G. S. Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference. **ASHRAE Trans. Center for the Built Environment UC Berkeley**, Indoor Environmental Quality, v.104, parte 1, 1998.

56 DE DEAR, R.; BRAGER, G. S. Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55. **Energy and Buildings**, v. 34, p. 549–561, 2002. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778802000051>>. Acesso em 10 out. 2014.

57 DE DEAR, R. Thermal comfort in practice. **Indoor Air**, v. 14 (7), p. 32–39, 2004. Disponível em:<<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1600-0668.2004.00270.x/pdf>>. Acesso em: 10 set. 2014.

58 DE DEA, R. Recent Enhancements to the Adaptive Comfort Standard in ASHRAE 55-2010. **45th Annual Conference of the Architectural Science Association, ANZASCA**. The University of Sydney. 2011. Disponível em:< <http://anzasca.net/wp-content/uploads/2014/08/24P94.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2014.

59 DE VECCHI, R.; CÂNDIDO, M. C.; LAMBERTS, R. O efeito da utilização de ventiladores de teto no conforto térmico em salas de aulas com condicionamento híbrido em um local de clima quente e úmido. **Ambiente Construído**, v. 13, n. 4, p. 189-202, jul./set.,

2013. Disponível em:<<http://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/38862/28182>>. Acesso em 10 out. 2014.
- 60 DESIGN BUILDER SOFTWARE LTDA. **DesignBuilder** Software Ltda. Version 3.0.0.105. 2012.
- 61 DILI, A. S.; NASEERB, M. A.; VARGHESEC, T. Z. Passive control methods for a comfortable indoor environment: Comparative investigation of traditional and modern architecture of Kerala in summer. **Energy and Buildings**, v. 43, 653–664, 2011. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778810004032>>. Acesso em 10 out. 2014.
- 62 DJAMILA, H; GHU, C.; KUMARESAN, S. Field study of thermal comfort in residential buildings in the equatorial hot-humid climate of Malaysia. **Building and Environment**, v. 62, p.133-142, 2013. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132313000322>>. Acesso em 10 out. 2014.
- 63 DJONGYANG, N. L.; TCHINDA, R.; NJOMO, D. Thermal comfort: A review paper. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, p. 2626-2640, 2010. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032110002200>>. Acesso em 10 out. 2014.
- 64 DOMUS POMPEIANA PERSTYLIUM. Disponível em:<<http://www.domuspompeiana.com/Web%20Arqueologica/0546109eb21104903/index.html>>. Acesso em: 10 out. 2014.
- 65 EB. **Esquadrias Bertoni**. Disponível em: <<http://esquadriasbertoni.wordpress.com/venezianas/>>. Acesso em: 10. Set. 2014.
- 66 ECO, H. **Como se faz uma tese**. 22 ed. Perspectiva: São Paulo, 2009.
- 67 ECOVIAGEM. Turismo fácil e interativo. Disponível em:<<http://ecoviagem.uol.com.br/>>. Acesso em: 10 out. 2014.
- 68 ENGINES OF OUR INGENUITY. **The Crystal Palace, No.19, 2004**. Disponível em:<[www.uh.edu/engines/epi19.htm](http://www.uh.edu/engines/epi19.htm)>. Acesso em: 10 set. 2014.
- 69 EPSTEIN, Y.; MORAN, D. Thermal comfort and the heat stress indices. **Industrial Health**, v. 4, p. 388–398, 2006. Disponível em:<[https://www.jniosh.go.jp/en/indu\\_hel/pdf/indhealth\\_44\\_3\\_388.pdf](https://www.jniosh.go.jp/en/indu_hel/pdf/indhealth_44_3_388.pdf)>. Acesso em 10 out. 2014.
- 70 ESTADÃO CULTURA. Disponível em:<<http://cultura.estadao.com.br/noticias/geral,a-epoca-de-ouro-da-arquitetura-carioca-em-18-obras,1119799>>. Acesso em: 10 set. 2014.

- 71 EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **CR 1752**: ventilation for buildings: design criteria for the indoor environment. Brussels, 2005.
- 72 EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 15.251**: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. Brussels, 2007.
- 73 EXXONMOBIL. **The Outlook for Energy: A view to 2040**. 2013. Disponível em: <[http://www.exxonmobil.com/Corporate/files/news\\_pub\\_eo.pdf](http://www.exxonmobil.com/Corporate/files/news_pub_eo.pdf)>. Acesso em: 02 ago. 2013.
- 74 FAGGIANELLI G. A.; BRUN, A.; WURTZ, E.; MUSELLI, M. Natural cross ventilation in buildings on Mediterranean coastal zones. **Energy and Buildings**, v. 77, p. 206–218, 2014. Disponível em :<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037877881400262X>>. Acesso em: 10 set. 2014.
- 75 FAVAROLO, P. A.; MANZ, H. Temperature-driven single-sided ventilation through a large rectangular opening. **Building and Environment**, v. 40, p. 689–699, 2005. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132304002148#>>. Acesso em: 10 nov. 2014.
- 76 FONTENELLE, M. R.; BASTOS, L. E. G. The multicriteria approach in the architecture conception: Defining windows for an office building in Rio de Janeiro. **Building and Environment**, v. 74, p.96-105, 2014. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132314000080>>. Acesso em: 10 set. 2014.
- 77 FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 8 ed., Studio Nobel: São Paulo, 2003.
- 78 GAO, C. F.; LEE, W. L. Evaluating the influence of openings configuration on natural ventilation performance of residential units in Hong Kong. **Building and Environment**, v. 46, p. 961-969, 2011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132310003215>>. Acesso em: 10 set. 2014.
- 79 GASPARELLA, A.; PERNIGOTTO, G.; CAPPELLETTIC, F.; ROMAGNONI, P.; BAGGIO, P. Analysis and modelling of window and glazing systems energy performance for a well insulated residential building. **Energy and Buildings**, v. 43, p.1030–1037, 2011. Disponível em:< <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778811000053>>. Acesso em: 10 nov. 2014.
- 80 GHIABAKLOU, Z. Natural Ventilation as a Design Strategy for Energy Saving. **World Academy of Science, Engineering and Technology**, v. 4, 2010. Disponível em:<

<http://waset.org/publications/9790/natural-ventilation-as-a-design-strategy-for-energy-saving>>. Acesso em: 10 out. 2014.

81 GHISI, E.; TINKER, J. A.; IBRAHIM, S. H. Área de janela e dimensões de ambientes para iluminação natural e eficiência energética: literatura versus simulação computacional. **Ambiente Construído**, v. 5, n.4, p. 81-93, 2005. Disponível em:<[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1678-86212010000400010&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1678-86212010000400010&script=sci_arttext)>.

Acesso em: 10 set. 2014.

82 GIL, A. C. **Como elaborar Projetos de pesquisa**. 4ª ed. Editora Atlas: São Paulo, 2002.

83 GIL, A. C. **Métodos e técnicas de Pesquisa Social**. 6ª ed., Editora Atlas: São Paulo, 2008.

84 GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and Building**, v. 18, p. 11-23, 1992. Disponível em:< <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/037877889290047K>>. Acesso em: 10 set. 2014.

85 GONÇALVES, W.; VALLE, R. M.; GARCIA, E. S. O papel de mecanismos adaptativos no conforto térmico de estudantes universitários em Belo Horizonte – MG. In: Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído, 6. 2001, São Pedro. **Anais....**, São Pedro, p. 1 – 8.

86 GRABE, J. von. Flow resistance for different types of windows in the case of buoyancy ventilation. **Energy and Buildings**, v. 65, p. 516–522, 2013. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778813003848>>. Acesso em: 10 set. 2014.

87 GRATIA, E.; HERDE, A. D. The most efficient position of shading devices in a double-skin façade. **Energy and Buildings**, v. 39, p. 364–373, 2007. Disponível em:<[http://ac.els-cdn.com/S0378778806002106/1-s2.0-S0378778806002106-main.pdf?\\_tid=ff79333e-6f15-11e4-9ebb-00000aacb35d&acdnat=1416310280\\_d34af165aaa765e12da4bfd111a2d102](http://ac.els-cdn.com/S0378778806002106/1-s2.0-S0378778806002106-main.pdf?_tid=ff79333e-6f15-11e4-9ebb-00000aacb35d&acdnat=1416310280_d34af165aaa765e12da4bfd111a2d102)>. Acesso em: 10 set. 2014.

88 GUSTAVSEN, A.; GRYNNING, S.; ARASTEH D.; JELLE, B. P.; GOUDEY, O. Key Elements of and Materials Performance Targets for Highly Insulating Window Frames. **Energy and Buildings**, 2011. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778811002027>>. Acesso em: 10 set. 2014.

89 HALAWA, E.; HOOFF, J. V. The adaptive approach to thermal comfort: A critical overview. **Energy and Buildings**, v. 51, p. 101–110, 2012. Disponível

em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778812002241>>. Acesso em: 10 set. 2014.

90 HALDI, F.; MOREL, N.; DAUM, D. A personalized measure of thermal comfort for building controls. **Building and Environment**, v. 46, p. 3-11, 2011. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132310001915>>. Acesso em: 10 set. 2014.

91 HASSOUNEH, K.; ALSHBOUL, A.; AL-SALAYMEH, A. Influence of windows on the energy balance of apartment buildings in Amman. **Energy Conversion and Management**, v. 51, p. 1583–1591, 2010. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890409004701>>. Acesso em: 10 set. 2014.

92 HERTZ, J. Ecotécnicas em arquitetura: como projetar nos trópicos úmidos do Brasil. Pioneira: São Paulo, 1998.

93 HISTÓRIA DA ARTE. **O barroco, 2000**. Disponível em: <[www.historianet.com.br/conteudo/default.asp?codigo=246](http://www.historianet.com.br/conteudo/default.asp?codigo=246)>. Acesso em: 10 set. 2014.

94 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. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132313000474>>. Acesso em: 10 set. 2014.

95 HUMPHREYS, M. A.; NICOL, J. F. Understanding the adaptive approach to thermal comfort. **ASHRAE Trans: 104**, (1), p. 991-1004, 1998.

96 IHM, P.; PARK, L.; KRARTI, M.; SEO, D. Impact of window selection on the energy performance of residential buildings in South Korea. **Energy Policy**, v. 44, p. 1–9, 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421511006434>>. Acesso em: 10 set. 2014.

97 INDRAGANTI, M. Adaptive use of natural ventilation for thermal comfort in Indian apartments. **Building and Environment**, v. 45, p. 1490–1507, 2010. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132309003667>>. Acesso em: 10 set. 2014.

98 INDRAGANTI, M. Using the adaptive model of thermal comfort for obtaining indoor neutral temperature: findings from a field study in Hyderabad, India, **Building and Environment**, v. 45, p. 519–536, 2010a. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132309001760>>. Acesso em: 10 set. 2014.

99 INDRAGANTI, M. Behavioural adaptation and the use of environmental controls in summer for thermal comfort in apartments in India. **Energy Building**, v. 42(7), p. 1019-1025,

- 2010b. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778810000216>>. Acesso em: 10 set. 2014.
- 100 INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2013. **Atlas do Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <[http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv64529\\_cap6.pdf](http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv64529_cap6.pdf)>. Acesso em: 02 ago. 2013.
- 101 INTERNATIONAL ENERGY OUTLOOK. Disponível em: <[http://www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484\(2013\).pdf](http://www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484(2013).pdf)>. Acesso em: 10 out. 2003.
- 102 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7730 - Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria**, Geneva, 2005.
- 103 IVANÓSKI, C. G. **Um modelo de processo de projeto e produção de edifícios verticais, com uma visão “pavimentar” e de “interface horizontal”, visando integração entre layout de fachada e conforto**. 2004. 268f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- 104 JINKYUN, C.; YOO, C.; KIM, Y. Viability of exterior shading devices for high-rise residential buildings: Case study for cooling energy saving and economic feasibility analysis. **Energy and Buildings**, v. 82, p. 771-785, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.07.092>>. Acesso em: 10 set. 2014.
- 105 JONSSON, A.; ROOS, A. Evaluation of control strategies for different smart window combinations using computer simulations. **Solar Energy**: v. 84, p. 1–9, 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X0900262X>>. Acesso em: 10 set. 2014.
- 106 JORGE, L. A. **O Desenho da Janela**. Annablau-ME: São Paulo, 1995.
- 107 KARLSSON, J.; ROOS, A. Evaluation of window energy rating models for different houses and European climates. **Solar Energy**, v. 76, p. 71–77, 2004. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X03003050>>. Acesso em: 10 set. 2014.
- 108 KIM, S.-H.; KIM, S.-S.; KIM, K.-W.; CHO, Y.-H. A study on the proposes of energy analysis indicator by the window elements of office buildings in Korea. **Energy and Building**, v. 73, p. 153–165, 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778814000103>>. Acesso em: 10 set. 2014.

- 109 KIM, T. J.; PARK, J. S. Natural ventilation with traditional Korean opening in contemporary house. **Building and Environment**, v. 45, p. 51–57, 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132309001334>>. Acesso em: 10 set. 2014.
- 110 BARROSO-KRAUSE, C. **Desempenho Térmico e eficiência Energética em edificações**. PROCEL EDIFICA – EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES: Rio de Janeiro, 2011.
- 111 LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-epw>>. Acesso em: 17 dez. 2012.
- 112 LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Analysis SOL-AR**. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/downloads/software/analysis-sol-ar>>. Acesso em: 10 nov. 2014.
- 113 LAMBERTS, R.; CÂNDIDO, M. C.; DE DEAR, R.; DE VECCHI, R. Towards a Brazilian Standard on Thermal Comfort. **Research Report**, 2013. Disponível em: <[http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios\\_pesquisa/RP\\_Towards\\_a\\_Brazilian\\_Standard\\_Complete\\_Version.pdf](http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios_pesquisa/RP_Towards_a_Brazilian_Standard_Complete_Version.pdf)>. Acesso em: 10 set. 2014.
- 114 LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. PW: São Paulo, 2014.
- 115 LAMBERTS, R.; MARINOSKI, D. L.; MILBRATZ, J. H. **Construção, Conforto ambiental e uso racional de energia e água**: Análise de propriedades térmicas e ópticas de janelas através de simulação computacional. Projeto de Pesquisa. Florianópolis, 2007.
- 116 LAMBERTS, R.; XAVIER, A. A.; GOULART, S.; DE VECCHI, R. **Conforto térmico e stress térmico**. Universidade Federal de Santa Catarina – Centro Tecnológico – departamento de engenharia Civil, 2011. Disponível: <[http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV4200\\_apostila%202011.pdf\\_2.pdf](http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV4200_apostila%202011.pdf_2.pdf)>. Acesso em: 25 jul. 2014.
- 117 LAZAROTTO, N.; SANTOS, J. C. P. Avaliação do conforto térmico de estudantes do ensino fundamental na região noroeste do RS. In: Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído, 9. 2007. Ouro Preto. **Anais...**, Ouro Preto, 2007, p. 1038–1046.
- 118 LE CORBUSIER. **Le Corbusier et Pierre Jeanneret: Oeuvre complète de 1929-1934**. 4ª ed., Willy Boesiger: Zurich: 1947.
- 119 LEMOS, C. A. Uma nova proposta de abordagem da história da arquitetura brasileira. **Arquitextos**. Fev 2012. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/12.141/4214>>. Acesso em 10 out. 2014.

- 120 LIPING, W.; HIEN, W. N. The impacts of ventilation strategies and facade on indoor thermal environment for naturally ventilated residential buildings in Singapore, **Building Environments**, v. 42, p. 4006–4015, 2007. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132306003714>>. Acesso em: 10 set. 2014.
- 121 LIU, L.; YAO R.; MCCLOY, R. A method to weight three categories of adaptive thermal comfort. **Energy and Building**, v. 47, p. 312–320, 2012. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778811006025>>. Acesso em: 10 set. 2014.
- 122 M3MADEIRAS. Disponível em:<<http://m3madeiras.blogspot.com.br/2010/09/venezianas.html>>. Acesso em: 10 set. 2014.
- 123 MACPHERSON, K. The assessment of the thermal environment. A review. **British Journal of Industrial Medicine**, v. 19, p. 151–164, 1962. Disponível em:<<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1038191/>>. Acesso em: 10 nov. 2014.
- 124 MALLICK, F. H. Thermal comfort and building design in the tropical climates. **Energy Buildings**, v. 23(3), p. 161-167, 1996. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/037877889500940X>>. Acesso em: 10 set. 2014.
- 125 MANIOGLU, Z.; YILMAZ, Economic evaluation of the building envelope and operation period of heating system in terms of thermal comfort, **Energy and Buildings**, v. 38 (3), p. 266–272, 2006. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037877880500099X>>. Acesso em: 10 set. 2014.
- 126 MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 5<sup>a</sup> ed., Editora Atlas: São Paulo, 2003.
- 127 MARCONDES, M. P. **Soluções Projetuais de Fachadas para Edifícios de Escritórios com Ventilação Natural em São Paulo**. 2010. 261 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.
- 128 MASCARELLO, S. N. P. R. **Arquitetura Brasileira**: Elementos, materiais e técnicas construtivas. Universidade do Vale do Rio dos Sinos: Rio Grande do Sul, 1982.
- 129 MENDONÇA, P. J. F. A. U. **Habitar sob uma segunda pele**: estratégias para a Redução do Impacto Ambiental de Construções Solares Passivas em Climas Temperados. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade do Minho. Guimarães, 2005.
- 130 MERMET, A. G. **Ventilación natural de edificios**. Eduardo Yarke – Nobuko: Buenos Aires, 2005.

- 131 MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/mme/menu/todas\\_publicacoes.html](http://www.mme.gov.br/mme/menu/todas_publicacoes.html)>. Acesso em: 02 jul. 2014.
- 132 MIOTTO, J. L. Evolução das esquadrias de madeira no Brasil. **UNOPAR Científica, Ciências Exatas Tecnologia**. Londrina – PR, nov. 2002, v.1, n.1, p55-62. Disponível em:<<file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/1214-4557-1-PB.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2014.
- 133 MISHA, A. K.; RAMGOPAL, M. Field studies on human thermal comfort - An overview. **Building and Environment**, v. 64, p. 94-106, 2013. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036013231300070X>>. Acesso em: 10 set. 2014.
- 134 NICOL, J. F. Characterising occupant behaviour in buildings: towards a stochastic model of occupant use of windows, lights, blinds, heaters and fans, in: **Proceedings of the seventh international IBPSA conference**, Rio de Janeiro, v. 2, 2001. Disponível em:<[http://www.ibpsa.org/%5Cproceedings%5CBS2001%5CBS01\\_1073\\_1078.pdf](http://www.ibpsa.org/%5Cproceedings%5CBS2001%5CBS01_1073_1078.pdf)>. Acesso em: 10 set. 2014.
- 135 NICOL, J. F.; HUMPHREYS, M. A. Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. **Energy and Buildings**, v. 34, p. 563–572, 2002. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778802000063>>. Acesso em: 10 set. 2014.
- 136 NICOL, J. F.; RAJA, I. A.; ALLAUDIN, A.; JAMY, G. N. Climatic variations in comfortable temperatures: the Pakistan projects. **Energy Buildings**, v. 30(3), p. 261-279, 1999. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778899000110>>. Acesso em: 10 set. 2014.
- 137 NICO-RODRIGUES, E. A.; ALVAREZ, C. E. Método de Avaliação de Desempenho para Janelas em Residências Multifamiliares em Vitória-ES: Ênfase no Conforto Proporcionado pela Ventilação. **Habitat Sustentable**, v.1, p. 14-24, 2011. Disponível em:<<http://revistahabitatsustentable.cl/inicio.html>>. Acesso em: 10 nov. 2014.
- 138 NICO-RODRIGUES, E. A.; ALVAREZ, C. E.; DELL SANTO, A.; PIDERIT, M. B. Quando a janela define a condição de desempenho térmico em ambiente ventilado naturalmente: caso específico das edificações multifamiliares em Vitória, ES. **Ambiente Construído**. 2015, (no prelo).
- 139 NICO-RODRIGUES E. A. **Janelas x Ventilação**: modelo de apoio à escolha para edificações multifamiliares em Vitória, ES. 2008. 177f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2008.

- 140 NIU, J. Some significant environmental issues in high-rise residential building design in urban areas, **Energy and Buildings**, v. 36(12), p. 1259-1263, 2004. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778804000581>>. Acesso em: 10 set. 2014.
- 141 OCHOA, C. E.; ARIES, M. B. C.; LOENEN, E. J. van; HENSEN, J. L. M. Considerations on design optimization criteria for windows providing low energy consumption and high visual comfort. **Applied Energy**, v. 95, p. 238–245, 2012. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261912001419>>. Acesso em: 10 set. 2014.
- 142 OIKONOMOU, A. Summer thermal comfort in traditional buildings of the 19th century in Florina, north-western Greece. International Conference. Passive and Low Energy Cooling 239 for the Built Environment, May 2005, Santorini, Greece. **Department of Architectural Technology**, Faculty of Architecture, National Technical University of Athens, Greece, 2005. Disponível em:<<http://plea-arch.org/ARCHIVE/2005/PLEA2005ConferenceProceedingsVol1.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2014.
- 143 OLESEN, B.; PARSONS, K. Introdução aos padrões de conforto térmico e para a nova versão proposta da norma EN ISO 7730, **Energy Buildings**, v. 34, p. 537-548, 2002. Disponível em:<[ftp://164.41.49.96/Usuarios/Luis/BACKUP/UNB/Projeto %20Final /TG\\_1/Projeto%201/ISO%207730/Olesen%202002%20-%20Energy%20and%20Buildings %20-%20Thermal%20comfort%20standards%20ISO7730.pdf](ftp://164.41.49.96/Usuarios/Luis/BACKUP/UNB/Projeto%20Final/TG_1/Projeto%201/ISO%207730/Olesen%202002%20-%20Energy%20and%20Buildings%20-%20Thermal%20comfort%20standards%20ISO7730.pdf)>. Acesso em: 10 nov. 2014.
- 144 PARSONS, K. Human Thermal Environments, 2nd ed. **Taylor-Francis**, London, p. 258–292, 2003.
- 145 PEETERS, L.; DE DEAR, R.; HENSEN J.; D’HAESELEER, W. Thermal comfort in residential buildings: Comfort values and scales for building energy simulation. **Applied Energy**, v. 86, p. 772–780, 2009. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261908001785>>. Acesso em: 10 set. 2014.
- 146 PEREIRA, I. M.; ASSIS, E. S. Avaliação de modelos de índices adaptativos para uso no projeto arquitetônico bioclimático. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 1, p. 31-51, Jan. /mar. 2010. Disponível em:<<http://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/6319>>. Acesso em: 10 set. 2014.
- 147 PEREIRA, C. D.; GHISI, E. The influence of the envelope on the thermal performance of ventilated and occupied houses. **Energy and Buildings**, v. 43, p. 3391–3399,

2011. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778811003884#>>. Acesso em: 14 set. 2014.
- 148 PILKINGTON. **A história do vidro na arquitetura brasileira**. Disponível em: <<https://www.pilkington.com/en/br/historia/a-historia-do-vidro-na-arquitetura-brasileira>>. Acesso em: 10 nov. 2014.
- 149 PREFEITURA MUNICIPAL DE VITÓRIA. **Código de obras da Prefeitura Municipal de Vitória**. Vitória, 1998.
- 150 PREFEITURA MUNICIPAL DE VITÓRIA. **Lei Municipal nº 4.476**, 1997.
- 151 PREFEITURA MUNICIPAL DE VITÓRIA. **Geoweb Vitória**. Disponível em: <<http://geoweb.vitoria.es.gov.br/>>. Acesso em: 8 set. 2013.
- 152 RAJA, I. A.; NICOL, J. F.; MCCARTNEY, K. J.; HUMPHREYS, M. A. Thermal comfort: use of controls in naturally ventilated buildings. **Energy Buildings**, v. 33(3), p. 235-244, 2001. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S03787788000876>>. Acesso em: 10 set. 2014.
- 153 RICHTER, W.; SEIFERT, J.; GRITZKI, R.; ROSLER, M. Determination of the Actual Air Change Rate for Natural Ventilation with regard to Energy Efficiency and Building Physics. Technische Universidad Dresden, Faculty of Mechanical Engineering, **Institute of Thermodynamics and Building Equipment**, 2003. Disponível em: <[https://www.irbnet.de/daten/kbf/kbf\\_e\\_F\\_2425.pdf](https://www.irbnet.de/daten/kbf/kbf_e_F_2425.pdf)>. Acesso em 10 nov. 2014.
- 154 ROAF, S.; CRICHTON, D.; NICOL, F. **Adapting Buildings and cities for climate change**. A 21<sup>st</sup> Century Survival Guide, 2<sup>a</sup> ed. Elsevier: USA, 2009.
- 155 ROAF, S.; FUENTES, M.; THOMAS, S. **Ecohouse: A casa ambientalmente sustentável**. Bookman: Porto Alegre, 2006.
- 156 ROETZEL, A.; TSANGRASSOULIS, A.; DIETRICH, U.; BUSCHING, S. A review of occupant control on natural ventilation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, p. 1001–1013, 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032109002676>>. Acesso em: 10 set. 2014.
- 157 RUAS, A. C. **Avaliação de conforto térmico: Contribuição à prática das normas internacionais**. Campinas, 1999 b. 71 p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Civil. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1999.
- 158 SADINENI, S. B.; MADALA, S.; BOEHM, R. F. Passive building energy savings: A review of building envelope components. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.15, p. 3617– 3631, 2011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032111002504>>. Acesso em: 10 set. 2014.

- 159 SANTO, A. D.; ALVAREZ, C. E.; NICO-RODRIGUES, E. A. Conforto e desempenho térmico em contradição na NBR 15575. **Cadernos PROARQ** 20, n.20, p. 116-136, 2013. Disponível em:< [http://cadernos.proarq.fau.ufrj.br/public/docs/Proarq\\_20-114.pdf](http://cadernos.proarq.fau.ufrj.br/public/docs/Proarq_20-114.pdf)>. Acesso em: 10 out. 2014.
- 160 SANTOS, J. P.; RORIZ, M. Influência do ângulo de incidência nos ganhos de calor solar através de materiais transparentes. **Ambiente Construído**, v.12, n.1, p. 149-161, Jan./Mar. 2012. Disponível em:< [file:///C:/Users/Edna/Downloads/23633-104106-1-PB%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Edna/Downloads/23633-104106-1-PB%20(1).pdf)>. Acesso em: 10 nov. 2014.
- 161 SASAZAKI. **Portas e Janelas**. Disponível em: <[http://www.sasazaki.com.br/produtos\\_detalhes.php?codigo=340&cod\\_cat=16&cod\\_subcat=60&tipo=3](http://www.sasazaki.com.br/produtos_detalhes.php?codigo=340&cod_cat=16&cod_subcat=60&tipo=3)>. Acesso em: 10 set. 2014.
- 162 SCHULZE, T.; EICKER, U. Controlled natural ventilation for energy efficient buildings. **Energy and Buildings**, v. 56, p. 221–232, 2013. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778812003994>>. Acesso em: 10 set. 2014.
- 163 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. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778811006232>>. Acesso em: 10 set. 2014.
- 164 SILVA, J. M. C. **Habitar a metrópole**: os apartamentos quitinetes de Adolf Franz Heep. Anais do Museu Paulista. Scielo. N. Sér. v.21. n.1. p. 141-157. jan.- jun. 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/anaismp/v21n1/a09v21n1.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2014.
- 165 SILVA, N. N. de. **Amostragem probabilística**. EDUSP: São Paulo, 1998.
- 166 SILVEIRA, F. M.; LABAKI, L. C. Análise do desempenho térmico para edificações Residenciais ventiladas naturalmente através de Simulação computacional baseada em abordagem Adaptativa. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 14. 2012. Juiz de fora. **Anais...**, Juiz de Fora, 2012. p. 877-885.
- 167 SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL DO ESPÍRITO SANTO – SINDUSCON-ES. Disponível em:< <http://www.sinduscon-es.com.br/v2/cgi-bin/conteudo.asp?menu2=55>>. Acesso em: 10 maio 2012.
- 168 SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL DO RIO GRANDE DO SUL – SINDUSCON-RS. Disponível em: <[http://www.sinduscon-rs.com.br/site/principal/conteudo\\_nivel\\_3.php?codConteudo=89](http://www.sinduscon-rs.com.br/site/principal/conteudo_nivel_3.php?codConteudo=89)>. Acesso em: 06 out. 2011.

- 169 SINGH, M. K.; MAHAPATRA, S.; ATREYA, S. K. Adaptive thermal comfort model for different climatic zones of North-East India. **Applied Energy**, v. 88, p. 2420–2428, 2011. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261911000225>>. Acesso em: 10 set. 2014.
- 170 SOGARTO, M. J.; VERSAGE, R.; LAMBERTS, R. Sombrear ou não sombread as janelas. Nota Técnica nº02/2011. Disponível em:<[www.labee.ufsc.br/publicacoes/notas-tecnicas/](http://www.labee.ufsc.br/publicacoes/notas-tecnicas/)>. Acesso em: 10 nov. 2012.
- 171 SOGARTO, M. J.; VERSAGE, R.; LAMBERTS, R. A influência da área de ventilação no desempenho térmico de edificações residenciais. Nota Técnica nº03/2011a. Disponível em:<[www.labee.ufsc.br/publicacoes/notas-tecnicas/](http://www.labee.ufsc.br/publicacoes/notas-tecnicas/)>. Acesso em: 10 nov. 2012.
- 172 SORMAN, A. H.; GIAMPIETRO, M. The energetic metabolism of societies and the degrowth paradigm: analyzing biophysical constraints and realities. **Journal of Cleaner Production**, v.38, p 80-93, 2013. Disponível em:< <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652611004987>>. Acesso em: 10 nov. 2014.
- 173 SPINDLER, H. C.; NORFORD, L. K. Naturally ventilated and mixed-mode buildings. Part II: Optimal control. **Building and Environment**. 2009. Disponível em:<DOI: 10.1016/j.buildenv.2008.05.018, 2009>. Acesso em: 10 set. 2014.
- 174 STAVRAKAKIS, P. L. ZERVAS, H. SARIMVEIS, N. C. MARKATOS. Optimization of window-openings design for thermal comfort in naturally ventilated buildings. **Applied Mathematical Modelling**, v. 36, 193–211. 2012. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0307904X11003635>>. Acesso em: 10 nov. 2014.
- 175 STEPHAN, L.; BASTIDE, A.; WURTZ, E. Optimizing opening dimensions for naturally ventilated buildings. **Applied Energy**, v. 88, p. 2791–2801, 2011. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261910005593>>. Acesso em: 10 nov. 2014.
- 176 ŠUMARAC, D.; TODOROVIĆ, M.; DJUROVIĆ-PETROVIĆ, M.; TRIŠOVIĆ, N. Energy efficiency of residential buildings in Serbia. **Thermal Science**, v. 14, p. 97-113, 2010. Disponível em:<[http://www.doiserbia.nb.rs/img/doi/0354-9836/2010/0354-98361000\\_017S.pdf](http://www.doiserbia.nb.rs/img/doi/0354-9836/2010/0354-98361000_017S.pdf)>. Acesso em: 10 nov. 2014.
- 177 TIBIRIÇA, A. C. G. Contexto para o desempenho ambiental de janelas. In: XIX Encontro Nacional de Engenharia. In: International Congress of Industrial Engineering, 5 e o Encontro de Engenharia de Produção, 1, 1999. Rio de Janeiro. **Anais...**, Rio de Janeiro, v. 1, 1999.

- 178 TSIKALOUDAKI, K.; THEODOSIOU, TH.; LASKOS, K.; BIKAS D. Assessing cooling energy performance of windows for residential buildings in the Mediterranean zone. **Energy Conversion and Management**, v. 64, p. 335–343, 2012. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890412002075>>. Acesso em: 10 set. 2014.
- 179 VERSAGE, R. S. Ventilação natural e desempenho térmico de edifícios verticais multifamiliares em Campo Grande, MS. 2009. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal de Santa Catarina. 2009.
- 180 VOLPATO, L. G. **Método Lógico para redação científica**. Best riting: Botucatu, 2011.
- 181 WANG, Z.; ZHANG, L.; ZHAO, J.; HE, Y. Thermal comfort for naturally ventilated residential buildings in Harbin. **Energy Buildings**, v. 42(12), p. 2406-2415, 2010. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778810002859>>. Acesso em: 10 set. 2014.
- 182 WILLRATH, H. Comparison of the Thermal Performance of Free Running and Conditioned Houses in the Brisbane Climate. **Department of Arcitecture, Univerty of Queensland**, 1998. Disponível em:<<http://www.solarlogic.com.au/profile/Free%20Running%20Buildings%20v%20Conditioned.pdf>>. Acesso em 10 nov. 2014.
- 183 WONG, N. H.; FERIADI, H.; LIM, P. Y.; THAM, K. W.; SEKHAR, C.; CHEONG, K. W. Thermal comfort evaluation of naturally ventilated public housing in Singapore. **Building and Environment**, v. 37, p. 1267 – 1277, 2002. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132301001032>>. Acesso em: 10 set. 2014.
- 184 WONG, S. L.; WAN, K. K. W.; YANG, L.; LAM, J. C. Changes in bioclimates in different climates around the world and implications for the built environment. **Building and Environment**, v.57, p. 214-222, 2012. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132312001540>>. Acesso em: 10 set. 2014.
- 185 XAVIER, A. A. de P. **Predição de conforto térmico em ambientes internos com atividades sedentárias** – teoria da física aliada a estudos de campo. 2000. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.
- 186 YANG, W.; ZHANG, G. Thermal comfort in naturally ventilated and air conditioned buildings in humid subtropical climate zone in China. **Int J Biometeorol**, v. 52(5), p. 385-398, 2008. Disponível em:<[http://www.researchgate.net/publication/5774607\\_Thermal\\_](http://www.researchgate.net/publication/5774607_Thermal_)

comfort\_in\_naturally\_ventilated\_and\_air-conditioned\_buildings\_in\_humid\_subtropical\_climate\_zone\_in\_China>. Acesso em: 10 set. 2014.

187 YAO, R.; LIU, J.; LI, B. Occupants' adaptive responses and perception of thermal environment in naturally conditioned university classrooms. **Appl Energy**, v. 87(3), p. 1015-1020, 2010. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261909004206>>. Acesso em: 10 set. 2014.

188 YIN, W.; ZHANG, G.; YANG, W.; WANG, X. Natural ventilation potential model considering solution multiplicity, window opening percentage, air velocity and humidity in China. **Building and Environment**, v.45, p. 338-344, 2010. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132309001577>>. Acesso em: 10 set. 2014.

189 YOO, H. C.; OH, Y. H.; PARK, S. K. The optimal window system of office buildings considering energy efficiency. **Journal of the Korean Solar Energy Society**, v. 25 (4), p. 53-60, 2005.

190 YUN, G. Y.; STEEMERS, K.; BAKER, N. Natural ventilation in practice: linking façade design, thermal performance, occupant perception and control. **Build Res Inf**, v. 36(6), p. 608-624, 2008.

191 ZHANG, Y.; LIN, K.; ZHANG, Q.; DI, H. Ideal thermophysical properties for free-cooling (or heating) buildings with constant thermal physical property material. **Energy and Buildings**, v.38, p.1164-1170, 2006. Disponível em:<[http://www.researchgate.net/publication/245196935\\_Ideal\\_thermophysical\\_properties\\_for\\_free-cooling\\_\(or\\_heating\)\\_buildings\\_with\\_constant\\_thermal\\_physical\\_property\\_material](http://www.researchgate.net/publication/245196935_Ideal_thermophysical_properties_for_free-cooling_(or_heating)_buildings_with_constant_thermal_physical_property_material)>. Acesso em: 10 set. 2014.

192 ZHOU, C.; WANG, Z.; CHEN, Q.; JIANG, Y.; PEI, J. Design optimization and field demonstration of natural ventilation for high-rise residential buildings. **Energy and Buildings**, v. 82, p.457-465, 2014. Disponível em:< <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778814005180>>. Acesso em: 10 jan. 2015.

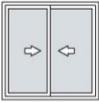
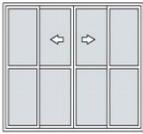
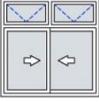


# APÊNDICE



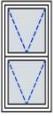
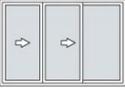
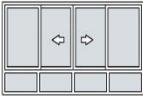
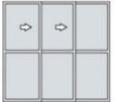
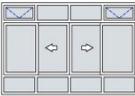
Apêndice 01: Caracterização e quantitativo de tipos de janelas por bairros

(continua)

MODELO	CARACTERÍSTICAS	QUANTIDADE DE JANELAS											QDADE por material	QDADE por tipos	%	Sistemas de aberturas
		Bento Ferreira	Praia do Suá	Santa Lúcia	Praia do Canto	Santa Helena	Barro Vermelho	Enxada do Suá	Jardim da Penha	Jardim Camburi	Mata da Praia	1.999				
		50	6	19	241	40	76	12	863	560	132	1.999				
	A1	Alumínio natural/vidro incolor	13	0	6	34	12	18	2	177	228	14	504	852	42,60	correr
	A2	Alumínio branco/vidro incolor	0	2	0	1	0	0	0	5	31	0	39			
	A3	Alumínio branco/vidro verde	0	0	2	11	1	10	5	57	34	9	129			
	A4	Alumínio preto/vidro fumê	2	0	2	15	2	2	1	65	33	21	143			
	A5	Alumínio bronze/vidro fumê	0	0	1	5	0	1	0	9	10	11	37			
	B1	Alumínio natural/vidro incolor	2	2	1	17	1	4	0	23	22	2	74	349	17,45	correr
	B2	Alumínio branco/vidro incolor	0	0	0	0	0	0	0	4	28	0	32			
	B3	Alumínio branco/vidro verde	10	0	2	32	7	11	1	36	31	1	131			
	B4	Alumínio preto/vidro fumê	4	0	1	26	4	7	0	27	7	1	77			
	B5	Alumínio bronze/vidro fumê	0	0	0	12	3	3	0	10	7	0	35			
	C1	Alumínio natural/vidro incolor	4	0	2	10	0	5	0	116	42	25	204	240	12,00	Correr/ maxim- ar
	C2	Alumínio branco/vidro incolor	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1			
	C3	Alumínio branco/vidro verde	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	C4	Alumínio preto/vidro fumê	0	0	1	2	0	0	0	11	14	5	33			
	C5	Alumínio bronze/vidro fumê	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2			
	D1	Alumínio natural/vidro incolor	8	1	0	15	4	3	0	135	18	0	184	192	9,60	Correr/ fixo/ maxim- ar
	D2	Alumínio branco/vidro incolor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	D3	Alumínio branco/vidro verde	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1			
	D4	Alumínio preto/vidro fumê	0	0	0	3	0	0	0	2	2	0	7			
	D5	Alumínio bronze/vidro fumê	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	E1	Alumínio natural/vidro incolor	2	0	0	5	1	0	0	15	11	1	35	82	4,10	Correr/ fixo
	E2	Alumínio branco/vidro incolor	1	0	0	0	1	0	0	0	4	0	6			
	E3	Alumínio branco/vidro verde	1	0	0	6	0	1	0	1	0	2	11			
	E4	Alumínio preto/vidro fumê	0	0	0	5	0	0	0	9	5	4	23			
	E5	Alumínio bronze/vidro fumê	0	0	0	3	0	0	0	0	0	4	7			



(continuação)

	P1	Alumínio natural/vidro incolor	0	0	0	1	0	0	0	8	0	0	9	10	0,50	Maximizar	
	P2	Alumínio branco/vidro incolor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
	P3	Alumínio branco/vidro verde	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
	P4	Alumínio preto/vidro fumê	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0				1
	P5	Alumínio bronze/vidro fumê	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				0
	Q1	Alumínio natural/vidro incolor	0	0	0	2	0	0	0	4	0	0	6	8	0,40	Correr	
	Q2	Alumínio branco/vidro incolor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
	Q3	Alumínio branco/vidro verde	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
	Q4	Alumínio preto/vidro fumê	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0				1
	Q5	Alumínio bronze/vidro fumê	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0				1
	R1	Alumínio natural/vidro incolor	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	5	0,25	Correr/fixo	
	R2	Alumínio branco/vidro incolor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
	R3	Alumínio branco/vidro verde	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
	R4	Alumínio preto/vidro fumê	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	3				
	R5	Alumínio bronze/vidro fumê	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				0
	S1	Alumínio natural/vidro incolor	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	4	0,20	Correr	
	S2	Alumínio branco/vidro incolor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
	S3	Alumínio branco/vidro verde	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
	S4	Alumínio preto/vidro fumê	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2				
	S5	Alumínio bronze/vidro fumê	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				0
	T1	Alumínio natural/vidro incolor	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	4	4	0,20	Correr	
	T2	Alumínio branco/vidro incolor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
	T3	Alumínio branco/vidro verde	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
	T4	Alumínio preto/vidro fumê	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
	T5	Alumínio bronze/vidro fumê	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				0
	U1	Alumínio natural/vidro incolor	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3	3	0,15	Correr/fixo/maximizar	
	U2	Alumínio branco/vidro incolor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
	U3	Alumínio branco/vidro verde	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
	U4	Alumínio preto/vidro fumê	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
	U5	Alumínio bronze/vidro fumê	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				0
	V1	Alumínio natural/vidro incolor	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	2	0,10	Correr/maximizar	
	V2	Alumínio branco/vidro incolor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
	V3	Alumínio branco/vidro verde	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
	V4	Alumínio preto/vidro fumê	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
	V5	Alumínio bronze/vidro fumê	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				0



## Apêndice 02:

## RESULTADOS: SOMATÓRIO DE GHDT E DE FDT

SOMATÓRIO DE GhDT = °C.h/dia												
MODELO MA												
	VERÃO			OUTONO			INVERNO			PRIMA VERA		
	1PAV	3PAV	5PAV	1PAV	3PAV	5PAV	1PAV	3PAV	5PAV	1PAV	3PAV	5PAV
LESTE	455,42	406,95	339,25	33,83	28,56	22	16,41	12,51	9,66	444,16	356,92	199,35
NORTE	466,18	398,21	328,31	101,5	84,91	65,4	53,58	39,11	34,78	417,81	358,8	229,28
OESTE	418,02	412,16	346,2	37,96	32,77	22,75	32,6	25,54	21,96	349,41	289,78	211,76
SUL	391,52	354,22	281	18,09	16,07	11,59	9,06	7,35	6,65	342,19	256,52	171,06
MODELO P1												
LESTE	155,04	139,74	134,28	10,7	9,73	9,02	0	0	0	56,91	50,54	41,48
NORTE	185,51	170,07	161,47	16,52	15,15	14,17	0	0	0	77,99	65,86	65,62
OESTE	151,08	142,08	132,89	14,68	13,27	12,24	0	0	0	51,53	45,4	45,83
SUL	172,75	159,43	150,79	7,01	6,03	5,58	0	0	0	60,72	49,88	44,35
MODELO P2												
LESTE	150,34	137,79	129,8	10,27	9,34	8,7	0	0	0	53,94	47,31	40,6
NORTE	184,22	169,1	160,01	16	13,59	12,69	0	0	0	77,09	68,94	64,08
OESTE	149,94	139,11	131,52	14,54	13,14	12,11	0	0	0	51,45	45,01	43,41
SUL	168,92	155,4	146,82	6,4	5,84	5,4	0	0	0	57,33	52,24	42,64

SOMATÓRIO FDT - TOTAL EMHORAS E EMPORCENTAGEM																								
MODELO M01																								
	VERÃO - 528 hs = 100%				OUTONO - 408 hs = 100%				INVERNO - 672 hs = 100%				PRIMA VERA - 432 hs = 100%											
	IPAV	3PAV	5PAV		IPAV	3PAV	5PAV		IPAV	3PAV	5PAV		IPAV	3PAV	5PAV									
	horas	%	horas	%	horas	%	horas	%	horas	%	horas	%	horas	%	horas	%								
LESTE	403	76,32	390	73,86	357	67,6	59	14,46	51	12,3	43	10,53	32	4,76	22	3,57	19	2,82	339	78,47	310	71,75	268	62,03
NORTE	399	75,56	383	72,53	352	66,66	159	38,79	131	32,1	99	24,26	99	14,73	73	10,9	58	8,63	359	83,1	336	77,77	256	59,25
OESTE	409	77,46	397	75,18	365	69,12	66	16,2	61	15	42	10,3	61	9,1	42	6,25	38	5,65	369	85,41	356	82,4	268	62,03
SUL	395	74,8	387	73,5	342	64,77	34	8,3	32	7,8	22	5,4	19	2,8	17	2,5	17	2,5	323	74,76	286	66,2	226	52,31
MODELO M02																								
LESTE	200	37,87	187	34,41	181	34,28	29	7,1	24	5,88	22	5,39	0	0	0	0	0	0	118	27,31	103	23,84	89	20,6
NORTE	216	40,9	205	38,82	198	37,5	39	9,55	37	9,06	33	8,08	0	0	0	0	0	0	146	33,79	131	30,32	131	30,32
OESTE	189	35,8	185	35,03	182	34,46	37	9,06	33	8,08	32	7,84	0	0	0	0	0	0	122	28,24	99	22,91	91	21,06
SUL	210	39,77	204	38,63	199	37,68	19	4,65	17	4,16	16	3,92	0	0	0	0	0	0	132	30,55	112	25,92	98	22,68
MODELO M03																								
LESTE	199	37,68	182	34,46	181	34,28	29	7,1	24	5,88	21	5,14	0	0	0	0	0	0	113	26,15	101	24,75	89	20,6
NORTE	216	40,9	204	38,63	198	37,5	38	9,31	32	7,84	30	7,35	0	0	0	0	0	0	138	31,94	125	28,93	128	29,62
OESTE	189	35,79	187	35,41	182	34,46	36	8,82	30	7,35	29	7,1	0	0	0	0	0	0	118	27,31	103	30,09	91	21,06
SUL	210	39,77	203	38,44	193	36,55	18	4,41	17	4,16	16	3,92	0	0	0	0	0	0	124	28,7	101	23,37	95	21,99

APÊNDICE 03:

RESULTADOS: VERÃO/ OUTONO/ INVERNO/ PRIMAVERA



Orientação Sul - Verão																							
Modelo Ma										Modelo P1					Modelo P2								
IPAV		3PAV		5PAV		IPAV		3PAV		5PAV		IPAV		3PAV		5PAV		IPAV		3PAV		5PAV	
ChDT	FDT	ChDT	FDT	ChDT	FDT	ChDT	FDT	ChDT	FDT	ChDT	FDT	ChDT	FDT	ChDT	FDT	ChDT	FDT	ChDT	FDT	ChDT	FDT	ChDT	FDT
21/dez	11,39	58,33	10,19	58,33	7,13	58,33	4,32	37,5	3,89	33,33	3,62	33,33	4,13	37,5	3,72	33,33	4,13	37,5	3,72	33,33	3,46	33,33	
05/jan	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
06/jan	2,19	33,33	1,31	25	0,06	8,33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
17/jan	0,92	25	0,37	20,83	0	0	0,25	12,5	0,1	8,33	0,03	4,17	0,18	12,5	0,06	8,17	0,18	12,5	0,06	8,17	0	0	
22/jan	33,23	100	28	95,83	24,69	91,67	16,61	87,5	13,9	83,33	12,38	79,17	16,33	83,33	13,58	83,33	16,33	83,33	13,58	83,33	12,07	75	
01/fev	33,07	100	30,32	100	26,22	100	14,55	58,33	13,69	58,33	13,1	58,33	14,18	58,33	13,3	58,33	14,18	58,33	13,3	58,33	12,72	58,33	
08/fev	42,54	100	39,96	100	35,65	100	19,18	70,83	18,03	70,83	17,29	70,83	18,94	75	17,75	70,83	18,94	75	17,75	70,83	17	66,67	
09/fev	40,1	100	37,88	100	33,95	100	16,31	66,67	15,34	62,5	14,71	58,33	16,06	66,67	15,09	62,5	16,06	66,67	15,09	62,5	14,45	54,17	
10/fev	31,54	100	29,25	100	25,42	100	13,12	54,17	12,21	54,17	11,63	54,17	12,92	54,17	11,98	54,17	12,92	54,17	11,98	54,17	11,4	54,17	
17/fev	2,96	41,67	2,33	37,5	0,64	16,67	0,04	4,17	0	0	0	0	0,02	4,17	0	0	0,02	4,17	0	0	0	0	
19/fev	13,42	95,83	11,69	91,67	7,89	70,83	4,85	41,67	4,29	41,67	3,94	37,5	4,59	41,67	4,04	37,5	4,59	41,67	4,04	37,5	3,7	37,5	
20/fev	23,07	100	21,02	100	16,81	100	7,88	50	7,15	45,83	6,68	45,83	7,63	50	6,9	45,83	7,63	50	6,9	45,83	6,43	45,83	
21/fev	25,02	100	22,83	100	18,76	100	10,73	50	10,11	50	9,66	50	10,52	50	9,88	50	10,52	50	9,88	50	9,44	45,83	
25/fev	10,55	54,17	10,03	54,17	7,74	54,17	7,45	37,5	7,1	37,5	6,82	37,5	7,28	37,5	6,92	37,5	7,28	37,5	6,92	37,5	6,64	37,5	
26/fev	27,26	100	25,24	100	20,48	100	11,84	54,17	11,09	54,17	10,56	50	11,58	54,17	10,81	54,17	11,58	54,17	10,81	54,17	10,3	50	
01/mar	15,8	95,83	13,95	91,67	10,58	91,67	6,8	41,67	6,31	41,67	5,95	41,67	6,59	41,67	6,08	41,67	6,59	41,67	6,08	41,67	5,73	41,67	
03/mar	10,33	83,33	8,99	83,33	5,84	66,67	4,19	37,5	3,66	37,5	3,3	37,5	4	37,5	3,46	37,5	4	37,5	3,46	37,5	3,1	37,5	
06/mar	7,62	62,5	6,7	58,33	4,33	45,83	5,15	33,33	4,76	33,33	4,49	33,33	5	33,33	4,61	33,33	5	33,33	4,61	33,33	4,33	33,33	
09/mar	18,06	100	16,12	95,83	12,36	79,17	9,34	45,83	8,84	45,83	8,49	45,83	9,17	45,83	8,65	45,83	9,17	45,83	8,65	45,83	8,29	41,67	
10/mar	21,12	100	18,78	100	14,59	100	9,2	45,83	8,61	45,83	8,2	45,83	9,02	45,83	8,4	45,83	9,02	45,83	8,4	45,83	8	45,83	
11/mar	21,33	100	19,26	100	15,2	100	10,94	45,83	10,35	45,83	9,94	45,83	10,78	45,83	10,17	45,83	10,78	45,83	10,17	45,83	9,76	45,83	
Σ =	391,52	1649,99	354,22	1612,49	288,34	1483,34	172,75	875	159,43	849,98	150,79	829,15	168,92	875	155,4	845,65	168,92	875	155,4	845,65	146,82	804,16	
÷ 4,16 =		395		387		356		210		204		199		210		203		210		203		185	

		Orientação Oeste - Verão																							
		Modelo Ma								Modelo P1								Modelo P2							
		IPAV		3PAV		5PAV		IPAV		3PAV		5PAV		IPAV		3PAV		5PAV		IPAV		3PAV		5PAV	
GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT		
21/dez	9,62	54,17	8,27	54,17	5,49	50	2,67	29,17	2,34	29,17	2,08	29,17	2,61	29,17	2,29	29,17	2,03	29,17	2,61	29,17	2,29	29,17	2,03	29,17	
05/jan	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
06/jan	3,33	37,5	1,62	33,33	0,27	12,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
17/jan	2,17	33,33	1,11	29,17	0,05	4,17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22/jan	34,38	100	29,93	100	26,89	100	15,1	83,33	14,63	83,33	12,66	83,33	15,02	83,33	13,54	83,33	12,56	83,33	15,02	83,33	13,54	83,33	12,56	83,33	
01/fev	37,66	100	35,13	100	31,49	100	13,62	58,33	13,02	58,33	12,56	54,17	13,5	58,33	12,88	58,33	12,41	58,33	13,5	58,33	12,88	58,33	12,41	58,33	
08/fev	46,39	100	42,9	100	39,05	100	16,61	62,5	15,69	62,5	15,02	58,33	16,55	62,5	15,6	62,5	14,94	58,33	16,55	62,5	15,6	62,5	14,94	58,33	
09/fev	2,21	100	40,81	100	37,66	100	13,56	54,17	12,79	50	12,28	50	13,5	54,17	12,7	50	12,19	50	13,5	54,17	12,7	50	12,19	50	
10/fev	35,71	100	32,63	100	29,51	100	11,67	54,17	10,88	54,17	10,3	54,17	11,62	54,17	10,8	54,17	10,22	54,17	11,62	54,17	10,8	54,17	10,22	54,17	
17/fev	6,03	45,83	4,6	45,83	2,66	37,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
19/fev	12,62	100	10,55	70,83	7,26	62,5	3,45	33,33	3,06	33,33	2,76	33,33	3,38	33,33	2,99	33,33	2,69	33,33	3,38	33,33	2,99	33,33	2,69	33,33	
20/fev	25,64	100	23,08	100	19,02	100	6,33	41,67	5,82	41,67	5,43	41,67	6,26	41,67	5,75	41,67	5,35	41,67	6,26	41,67	5,75	41,67	5,35	41,67	
21/fev	28,59	100	26,06	100	22,75	100	8,91	45,83	8,5	45,83	7,87	41,67	8,85	45,83	8,23	45,83	7,8	41,67	8,85	45,83	8,23	45,83	7,8	41,67	
25/fev	13,22	54,17	12,26	50	9,67	50	6,84	37,5	6,46	37,5	6,14	37,5	6,78	37,5	6,39	37,5	6,08	33,33	6,78	37,5	6,39	37,5	6,08	33,33	
26/fev	31,01	100	27,24	100	22,34	100	10,72	45,83	10,15	45,83	9,71	45,83	10,64	45,83	10,06	45,83	9,61	45,83	10,64	45,83	10,06	45,83	9,61	45,83	
01/mar	21,08	100	19,04	100	16,31	95,83	5,52	37,5	5,02	37,5	4,68	37,5	5,44	37,5	4,93	37,5	4,59	37,5	5,44	37,5	4,93	37,5	4,59	37,5	
03/mar	16,07	100	13,92	91,67	11,21	91,67	3,26	37,5	2,72	33,33	2,41	29,17	3,19	37,5	2,65	33,33	2,34	29,17	3,19	37,5	2,65	33,33	2,34	29,17	
06/mar	13,74	79,17	12	75	9,15	66,67	4,94	33,33	4,48	33,33	4,17	33,33	4,88	33,33	4,42	33,33	4,1	33,33	4,88	33,33	4,42	33,33	4,1	33,33	
09/mar	24,76	100	22,25	100	18,93	100	8,6	41,67	6,48	33,33	6,65	41,67	8,55	41,67	7,97	41,67	7,58	41,67	8,55	41,67	7,97	41,67	7,58	41,67	
10/mar	26,61	100	24,07	100	20,55	100	8,88	45,83	8,27	45,83	7,84	41,67	8,82	45,83	8,2	45,83	7,77	41,67	8,82	45,83	8,2	45,83	7,77	41,67	
11/mar	27,18	100	24,69	100	21,43	100	10,4	45,83	9,77	45,83	9,33	45,83	10,35	45,83	9,71	45,83	9,26	45,83	10,35	45,83	9,71	45,83	9,26	45,83	
Σ =	418,02	1704,17	412,16	1650	351,69	1570,84	151,08	787,49	140,08	770,81	132,89	758,34	149,94	787,49	139,11	779,15	131,52	758,33	149,94	787,49	139,11	779,15	131,52	758,33	
÷ 4,16 =		409		396		377	189		185		182		189		187		182		189		187		182		

Orientação Norte- Verão																			
Modelo MA						Modelo P1						Modelo P2							
IPAV		3PAV		5PAV		IPAV		3PAV		5PAV		IPAV		3PAV		5PAV			
ChDT	FDT	ChDT	FDT	ChDT	FDT	ChDT	FDT	ChDT	FDT	ChDT	FDT	ChDT	FDT	ChDT	FDT	ChDT	FDT		
21/dez	9,81	58,33	8,99	58,33	6,24	50	4,28	37,5	3,85	33,33	3,61	29,17	4,32	37,5	3,8	33,33	3,56	29,17	
05/jan	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
06/jan	0,93	20,83	0,28	16,67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
17/jan	0,51	20,83	0,14	8,33	0	0	0,38	16,67	0,22	8,33	0,15	8,33	0,35	16,67	0,21	8,33	0,14	8,17	
22/jan	40,02	100	35,01	100	31,75	100	19,12	91,67	17,32	91,67	16,24	87,5	19,08	91,67	17,22	91,67	16,14	87,5	
01/fev	37,61	100	31,54	100	27,23	100	14,4	58,33	13,64	54,17	13,11	58,33	14,28	58,33	13,5	50	12,97	58,33	
08/fev	47,4	100	37,66	100	33,28	100	18,64	66,67	17,25	62,5	16,45	62,5	18,58	66,67	17,17	62,5	16,37	62,5	
09/fev	41,14	100	36,84	100	32,75	100	16,53	62,5	15,5	54,17	14,89	54,17	16,48	62,5	15,42	54,17	14,81	54,17	
10/fev	31,54	100	28,21	100	24,55	100	12,63	54,17	11,43	54,17	10,72	50	12,58	54,17	11,36	54,17	10,65	50	
17/fev	3,83	41,67	3,01	37,5	0,91	20,83	0,31	12,5	0,2	8,33	0,12	8,33	0,28	12,5	0,18	8,33	0,12	8,33	
19/fev	12,97	91,67	10,6	70,83	7,56	54,17	5,04	41,67	4,42	41,67	4,03	37,5	4,96	41,67	4,33	41,67	3,95	37,5	
20/fev	26,61	100	20,64	100	16,4	100	8,03	50	7,12	45,83	6,58	41,67	7,96	50	7,04	45,83	6,5	41,67	
21/fev	26,79	100	23,54	100	19,48	95,83	11,2	50	10,45	50	9,97	45,83	11,13	50	10,36	50	9,88	45,83	
25/fev	12,4	54,17	11,45	50	9,1	50	7,85	41,67	7,39	41,67	7,07	37,5	7,77	41,67	7,31	41,67	6,99	37,5	
26/fev	29,85	100	26,91	100	22,4	100	11,98	54,17	11,01	50	10,43	50	11,87	54,17	10,9	50	10,33	50	
01/mar	23,9	100	20,98	91,67	17,62	95,83	8,53	41,67	7,91	41,67	7,47	41,67	8,43	41,67	7,8	41,67	8,37	41,67	
03/mar	20,24	100	15,5	91,67	12,08	91,67	6,46	45,83	5,82	41,67	5,35	41,67	6,37	45,83	5,72	41,67	5,26	41,67	
06/mar	13,06	75	11,32	66,67	8,56	58,33	6,12	37,5	5,55	37,5	5,19	33,33	6,03	37,5	5,46	37,5	5,91	33,33	
09/mar	27,39	100	24,09	100	20,36	100	10,98	45,83	10,32	45,83	9,87	45,83	10,89	45,83	10,22	45,83	9,84	45,83	
10/mar	29,17	100	25,31	100	21,65	100	10,62	45,83	9,75	45,83	9,2	45,83	10,53	45,83	9,65	45,83	8,2	45,83	
11/mar	31,01	100	26,19	100	22,63	100	12,41	45,83	11,55	45,83	11,02	45,83	12,33	45,83	11,45	45,83	10,02	45,83	
Σ =	466,18	1662,5	398,21	1591,67	334,55	1516,66	185,51	900,01	170,7	854,17	161,47	824,99	184,22	900,01	169,1	850	160,01	824,83	
÷ 4,16 =		399		383		352		216		205		198		216		204		198	

Orientação Leste - Verão																								
Modelo MA										Modelo P1					Modelo P2									
IPAV		3PAV		5PAV		IPAV		3PAV		5PAV		IPAV		3PAV		5PAV		IPAV		3PAV		5PAV		
GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	
21/dez	16,55	62,5	14,63	62,5	11,84	62,5	33,33	4,31	33,33	3,99	33,33	3,76	29,17	3,89	33,33	3,6	29,17	3,6	29,17	3,6	29,17	3,42	29,17	
05/jan	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
06/jan	0,69	16,67	0,22	12,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
17/jan	4,57	45,83	3,13	33,33	1,93	20,83	0,67	16,67	0,5	12,5	0,54	12,5	12,5	0,54	16,67	0,5	12,5	0,5	12,5	0,5	12,5	0,44	12,5	
22/jan	37,79	100	34,53	100	31,26	100	17,96	91,67	16,2	87,5	15,76	91,67	17,47	16,16	91,67	16,16	87,5	16,16	87,5	16,16	87,5	15,24	87,5	
01/fev	32,6	100	29,66	100	26,13	100	12,54	54,17	11,73	54,17	11,16	54,17	12,19	11,37	54,17	11,37	54,17	11,37	54,17	11,37	54,17	10,8	54,17	
08/fev	45,66	100	41,35	100	37,76	100	16,84	62,5	15,26	58,33	14,8	54,33	16,45	15,17	58,33	14,41	58,33	15,17	58,33	14,41	58,33	14,41	58,33	
09/fev	38,75	100	36,83	100	33,93	100	13,31	54,17	12,27	50	11,62	50	13,01	50	11,98	50	11,33	50	11,98	50	11,33	50	50	
10/fev	29,52	100	26,04	100	23,41	100	10,36	54,17	9,1	54,17	8,91	50	10,13	58,33	9,23	50	8,69	50	10,13	58,33	9,23	50	50	
17/fev	7,25	62,5	5,15	58,33	2,83	37,5	0,03	4,17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
19/fev	15,82	100	12,75	79,17	9,68	66,67	4,06	37,5	3,51	33,33	3,17	33,33	3,79	33,33	3,27	33,33	2,94	33,33	3,79	33,33	3,27	33,33	2,94	33,33
20/fev	26,95	100	23,61	100	20,09	100	6,63	45,83	5,8	45,83	5,58	37,5	6,6	45,83	5,77	41,67	5,31	37,5	6,6	45,83	5,77	41,67	5,31	37,5
21/fev	29,25	100	26,06	100	23,13	100	9,56	50	8,82	45,83	8,39	41,67	9,29	50	8,58	41,67	8,16	41,67	9,29	50	8,58	41,67	8,16	41,67
25/fev	15,1	58,33	13,92	58,33	11	58,33	7,03	37,5	6,6	33,33	6,35	33,33	6,84	37,5	6,43	33,33	6,16	33,33	6,84	37,5	6,43	33,33	6,16	33,33
26/fev	28,68	100	24,15	100	19,49	100	10,36	50	9,17	45,83	8,99	45,83	10,09	50	9,26	45,83	8,73	45,83	10,09	50	9,26	45,83	8,73	45,83
01/mar	22,49	95,83	19,43	95,83	16,98	95,83	5,98	37,5	5,27	33,33	4,99	33,33	5,57	37,5	5,15	33,33	4,8	33,33	5,57	37,5	5,15	33,33	4,8	33,33
03/mar	13,97	79,17	12,29	66,67	9,66	62,5	3,21	33,33	2,59	29,17	2,24	29,17	3,03	33,33	2,43	29,17	2,08	29,17	3,03	33,33	2,43	29,17	2,08	29,17
06/mar	11,21	62,6	9,86	58,33	7,73	45,83	4,57	33,33	4,18	29,17	3,94	29,17	4,41	33,33	4,04	29,17	3,79	29,17	4,41	33,33	4,04	29,17	3,79	29,17
09/mar	26,38	100	23,47	100	20,83	100	8,79	45,83	8,04	41,67	7,76	37,5	8,59	45,83	7,95	37,5	7,58	37,5	8,59	45,83	7,95	37,5	7,58	37,5
10/mar	25,09	100	24,41	100	21,19	100	8,56	45,83	7,52	45,83	7,33	45,83	8,36	45,83	7,61	45,83	7,13	45,83	8,36	45,83	7,61	45,83	7,13	45,83
11/mar	27,1	100	25,46	100	22,22	100	10,27	45,83	9,19	45,83	8,99	45,83	10,09	45,83	9,29	45,83	8,79	45,83	10,09	45,83	9,29	45,83	8,79	45,83
Σ =	455,42	1683,43	406,95	1624,99	351,09	1549,99	155,04	833,33	139,74	779,15	134,28	754,33	150,34	829,15	137,79	758,33	129,8	754,16	150,34	829,15	137,79	758,33	129,8	754,16
÷ 4,16 =		403		390		357		200		187		181		199		182		181		199		182		181

Orientação Sul - Outono																			
	Modelo Ma						Modelo P1						Modelo P2						
	IPAV		3PAV		5PAV		IPAV		3PAV		5PAV		IPAV		3PAV		5PAV		
	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	
10/abr	12,58	58,33	10,96	58,33	9,4	50	1,17	16,67	8,33	0,49	8,33	0,37	8,33	0,7	12,5	0,45	8,33	0,34	8,33
11/abr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16/abr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29/abr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30/abr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01/mai	0,38	16,67	0,19	12,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06/mai	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09/mai	2,78	37,5	2,58	33,33	1,62	29,17	1,43	20,83	1,31	20,83	1,18	20,83	1,39	20,83	1,26	20,83	1,13	20,83	20,83
16/mai	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17/mai	0,06	4,17	0,07	4,17	0	0	0,23	8,33	0,19	8,33	0,15	4,17	0,21	8,33	0,17	8,33	0,14	4,17	4,17
18/mai	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21/mai	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22/mai	0,04	4,17	0,02	4,17	0	0	0,17	4,17	0,14	4,17	0,12	4,17	0,16	4,13	0,13	4,17	0,1	4,17	4,17
29/mai	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02/jun	0	0	0	0	0	0	0,34	8,33	0,26	8,33	0,2	8,33	0,32	8,33	0,24	8,33	0,18	8,33	8,33
16/jun	2,25	20,83	2,25	20,83	0,57	12,5	3,67	20,83	3,64	20,83	3,56	20,83	3,62	20,83	3,59	20,83	3,51	20,83	20,83
17/jun	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21/jun	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Σ =	18,09	141,67	16,07	133,33	11,59	91,67	7,01	79,16	6,03	70,82	5,58	66,66	6,4	74,95	5,84	70,82	5,4	66,66	66,66
÷ 4,16 =		34		32		22		19		17		16		18		17		16	16

Orientação Oeste - Outono																			
Modelo Ma						Modelo P1						Modelo P2							
IPAV		3PAV		5PAV		IPAV		3PAV		5PAV		IPAV		3PAV		5PAV			
GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT		
10/abr	14,98	62,5	13,04	58,33	11,48	58,33	12,5	1,11	12,5	0,92	12,5	0,79	12,5	1,1	12,5	0,91	0	0,78	0
11/abr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16/abr	0,31	12,5	0,1	8,33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29/abr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30/abr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01/mai	3,05	33,33	2,11	25	0,82	16,67	16,67	1,11	16,67	0,84	16,67	0,67	16,67	1,09	16,67	0,82	16,67	0,65	16,67
06/mai	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09/mai	8,54	66,67	7,63	62,5	5,64	54,17	29,17	3,11	29,17	2,78	25	2,57	25	3,09	29,17	2,76	25	2,55	25
16/mai	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17/mai	1,6	16,67	1,57	16,67	0,84	12,5	12,5	1,09	12,5	1,03	12,5	0,97	12,5	1,07	12,5	1,02	12,5	0,96	12,5
18/mai	2,61	25	2,03	33,33	0	0	16,67	0,81	16,67	0,68	16,67	0,56	12,5	0,8	16,67	0,66	16,67	0,54	12,5
21/mai	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22/mai	1	12,5	0,93	12,5	0,41	8,33	12,5	0,73	12,5	0,65	8,33	0,6	8,33	0,71	8,33	0,64	8,33	0,59	8,33
29/mai	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02/jun	0,78	8,33	0,7	8,33	0,25	4,17	12,5	1,17	12,5	1,08	12,5	1	12,5	1,15	12,5	1,07	12,5	0,99	12,5
16/jun	4,72	25	4,59	25	3,31	20,83	29,17	5,24	29,17	5,09	25	4,96	25	5,22	29,17	5,07	25	4,94	25
17/jun	0,37	12,5	0,07	4,17	0	0	12,5	0,31	12,5	0,2	8,33	0,12	8,33	0,31	12,5	0,19	8,33	0,11	8,33
21/jun	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Σ =	37,96	275	32,77	254,16	22,75	175	154,18	14,68	13,27	137,5	133,33	12,24	133,33	14,54	150,01	13,14	125	12,11	120,83
÷ 4,16 =		66		61		42	37		33		32		32		36		30		29

		Orientação Norte - Outono																	
		Modelo Ma						Modelo PI						Modelo P2					
		1PAV		3PAV		5PAV		1PAV		3PAV		5PAV		1PAV		3PAV		5PAV	
GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT		
10/abr	18,76	66,67	17,09	62,5	15,87	62,5	16,67	1,38	16,67	1,17	16,67	1,02	16,67	1,36	16,67	1,15	16,67	0,99	16,67
11/abr	1,32	25	0,73	20,83	0,01	4,17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16/abr	3,79	62,5	2,3	45,83	0,81	29,17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29/abr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30/abr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01/mai	12,85	79,17	9,1	58,33	6,16	41,67	1,49	20,83	1,17	20,83	0,97	16,67	1,36	20,83	1,05	20,93	0,86	16,67	16,67
06/mai	1,31	20,83	0,79	16,67			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09/mai	17,72	79,17	15,72	75	13,87	75	3,47	29,17	3,14	25	2,91	25	3,36	25	3,05	25	2,82	25	25
16/mai	0,33	12,5	0,11	8,33			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17/mai	7,33	37,5	6,77	33,33	5,43	33,33	1,45	16,67	1,48	16,67	1,45	16,67	1,46	16,67	1,4	16,67	1,37	16,67	16,67
18/mai	6,75	62,5	4,99	45,83	3,26	29,17	0,33	12,5	0,15	8,33	0,08	4,17	0,25	12,5	0,11	8,33	0,08	4,17	4,17
21/mai	0,59	20,83	0,18	8,33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22/mai	4,94	37,5	4,53	29,17	3,4	20,83	0,99	12,5	0,98	12,5	0,94	12,5	0,91	12,5	0	0	0	0	0
29/mai	0,28	8,33	0,25	4,17	0,05	4,17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02/jun	4,92	20,83	4,9	20,83	3,81	16,67	1,62	12,5	1,67	12,5	1,66	12,5	1,7	12,5	1,6	12,5	1,6	12,5	12,5
16/jun	12,23	54,17	11,18	50	9,06	45,83	5,39	29,17	5,15	29,17	4,98	25	5,25	29,17	5,03	25	4,86	25	25
17/jun	8,38	75	6,2	66,67	3,67	50	0,4	12,5	0,24	12,5	0,16	8,33	0,35	12,5	0,2	8,33	0,11	8,33	8,33
21/jun	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Σ =	101,5	662,5	84,84	545,82	65,4	412,51	16,52	162,51	15,15	154,17	14,17	137,51	16	158,34	13,59	133,43	12,69	125,01	125,01
÷ 4,16 =		159		131		99		39		37		33		38		32		30	30

Orientação Leste - Outono																			
Modelo Ma						Modelo P1						Modelo P2							
IPAV		3PAV		5PAV		IPAV		3PAV		5PAV		IPAV		3PAV		5PAV			
GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT		
10/abr	15,44	62,5	13,34	58,33	11,81	58,33	1,15	12,5	0,98	12,5	0,85	12,5	1,1	12,5	0,93	12,5	0,8	12,5	
11/abr	0,02	4,17	0	0	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0	0	0	
16/abr	0,71	16,67	0,33	12,5	0,04	4,17	0	0	0	0			0	0	0	0	0	0	
29/abr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0	0	0	
30/abr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0	0	0	
01/mai	1,69	25	1,14	20,83	0,16	12,5	0,42	16,67	0,19	12,5	0,07	4,17	0,36	16,67	0,13	12,5	0,05	4,17	
06/mai	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0	0	0	
09/mai	7,66	62,5	6,05	54,17	5,13	45,83	2,67	25	2,43	25	2,23	25	2,59	25	2,34	25	2,15	25	
16/mai	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0	0	0	
17/mai	0,89	12,5	0,82	1,5	0,25	12,5	0,55	12,5	0,49	8,33	0,44	8,33	0,5	12,5	0,45	8,33	0,41	8,33	
18/mai	1,78	20,83	1,53	20,83	0,8	16,67	0,08	8,33	0,04	4,17	0,02	4,17	0,04	8,33	0,02	4,17	0	0	
21/mai	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0	0	0	
22/mai	0,45	8,33	0,34	8,33	0,02	4,17	0,42	8,33	0,35	8,33	0,29	8,33	0,38	8,33	0,31	8,33	0,26	8,33	
29/mai	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0	0	0	
02/jun	0,37	8,33	0,25	8,33	0	0	0,72	8,33	0,67	8,33	0,62	8,33	0,69	8,33	0,64	8,33	0,59	8,33	
16/jun	4,82	25	4,76	25	3,79	25	4,63	20,83	4,58	20,83	4,5	20,83	4,57	20,83	4,52	20,83	4,44	20,83	
17/jun	0	0	0	0	0	0	0,06	8,33	0	0	0	0	0,04	8,33	0	0	0	0	
21/jun	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0	0	0	
Σ =	33,83	245,83	28,56	209,82	22	179,17	10,7	120,82	9,73	99,99	9,02	91,66	10,27	120,82	9,34	99,99	8,7	87,49	
÷ 4,16 =		59		51		43		29		24		22		29		24		21	

Orientação Sul - Inverno																							
Modelo Ma												Modelo P1						Modelo P2					
IPAV			3PAV			5PAV			IPAV		3PAV		5PAV		IPAV		3PAV		5PAV				
GhDT	FDT		GhDT	FDT		GhDT	FDT		GhDT	FDT		GhDT	FDT		GhDT	FDT		GhDT	FDT				
23/jun	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
28/jun	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
30/jun	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
01/jul	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
02/jul	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
05/jul	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
13/jul	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
14/jul	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
16/jul	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
19/jul	7,58	37,5	6,81	37,5	6,2	37,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
05/ago	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
06/ago	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
07/ago	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
11/ago	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
15/ago	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
21/ago	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
22/ago	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
24/ago	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
01/set	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
04/set	1,38	33,33	0,54	33,33	0,45	33,33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
07/set	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
09/set	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
13/set	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
14/set	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
20/set	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
21/set	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
22/set	0,1	8,33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Σ =	9,06	79,16	7,35	70,83	17	70,83	70,83	17															
÷ 4,16 =																							







Orientação Sul - Primavera																			
	Modelo Ma						Modelo P1						Modelo P2						
	IPAV		3PAV		5PAV		IPAV		3PAV		5PAV		IPAV		3PAV		5PAV		
	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	
24/set	16,24	79,17	10,55	54,17	4,52	33,33	5,06	29,17	4,93	29,17	4,78	29,17	4,94	29,17	4,8	29,17	4,66	29,17	
06/out	10,9	62,5	6,72	33,33	0,75	20,83	0,02	4,17	0	0			0	0	10	0	0	0	
07/out	13,67	66,67	4,22	50	2,42	29,17	1,98	25	1,76	25	1,58	25	1,88	25	1,65	25	1,47	25	
08/out	16,34	70,83	10,87	62,5	2,97	45,83	1,47	29,17	1,06	20,83	0,89	16,67	1,31	29,17	0,96	16,67	0,82	12,5	
13/out	14,66	83,33	9,81	79,17	3,19	29,17	2,98	29,17	2,67	25	2,47	25	2,85	29,17	2,56	25	2,36	25	
14/out	17,55	87,5	10,22	87,5	1,9	45,83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
16/out	23,59	95,83	21,55	87,5	16,9	75	6,74	45,83	5,76	41,67	5,23	33,33	6,57	45,83	5,6	41,67	5,1	33,33	
17/out	15,9	95,83	11,34	87,5	2,79	50	0,73	16,67	0,35	8,33	0,23	8,33	0,65	16,67	0,31	8,33	0,19	8,33	
21/out	29,17	100	14,58	100	13,59	75	3,85	41,67	2,84	41,67	2,28	29,17	3,35	33,33	2,66	33,33	2,15	29,17	
16/nov	31,22	100	27,33	100	22,79	95,83	6,06	58,33	4,83	54,17	4,17	50	5,74	41,67	4,61	50	3,96	50	
17/nov	16,75	75	13,58	62,5	4,45	50	1	20,83	0,46	12,5	0,21	12,5	0,88	16,67	0,38	12,5	0,15	8,33	
18/nov	12,87	54,17	6,21	45,83	0,54	16,67	0,59	25	0,15	8,33	0,02	4,17	0,48	25	0,11	8,33	0	0	
30/nov	43,23	100	40,23	100	33,11	100	11,71	91,67	10,4	79,17	9,69	70,83	11,49	91,67	10,13	75	9,43	70,83	
06/dez	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10/dez	18,89	100	15,91	91,67	13,24	91,67	0,94	20,83	0,48	16,67	0,27	12,5	0,81	20,83	0,37	16,67	0,18	12,5	
14/dez	34,72	91,67	29,38	83,33	26,08	79,17	9,12	70,83	6,57	62,5	5,43	50	8,91	70,83	6,31	58,33	5,21	50	
18/dez	26,49	83,33	24,02	66,67	21,82	66,67	8,47	41,67	7,62	41,67	7,1	41,67	7,47	41,67	1,79	20,83	6,96	41,67	
20/dez	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Σ =	342,19	1345,83	256,52	1191,67	171,06	904,17		550,01		466,68	44,35	408,34	57,33	516,68	52,24	420,83	42,64	395,83	
÷ 4,16 =		323		359	226		60,72	132	49,88	112	98		124		101			95	

Orientação Oeste - Primavera																			
Modelo Ma						Modelo PI						Modelo P2							
IPAV		3PAV		5PAV		IPAV		3PAV		5PAV		IPAV		3PAV		5PAV			
GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT		
24/set	28,38	100	18,97	100	10,76	45,83	5,3	41,67	5,14	29,17	33,33	5,24	33,33	5,09	33,33	5,01	33,33		
06/out	15,36	100	12,66	100	10,53	20,83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
07/out	18,76	100	15,43	100	4,18	50	1,45	25	1,27	20,83	1,25	1,42	20,83	1,24	20,83	1,2	20,83		
08/out	19,49	100	15,33	100	4,12	66,67	1,07	25	0,78	16,67	0,63	1,02	25	0,74	16,67	0,7	12,5		
13/out	11,78	100	8,33	100	5,08	45,83	2,27	25	1,89	25	1,95	2,23	25	1,86	25	1,7	25		
14/out	14,64	100	12,08	100	6,54	87,5	0,05	4,17	0	0	0	0,03	8,33	0	0	0	0		
16/out	34,02	100	31,09	100	23,03	91,67	6,61	50	5,91	37,5	6,1	6,65	50	5,84	41,67	5,7	37,5		
17/out	10,98	100	7,9	91,67	3,98	58,33	0,58	16,67	0,32	8,33	0,23	0,56	16,67	0,31	8,33	0,3	0		
21/out	25,61	100	22,64	100	16,95	95,83	4,54	45,83	3,86	37,5	3,7	4,49	45,83	3,8	45,83	3,75	33,33		
16/nov	29,95	100	26,85	100	24,31	100	3,9	50	3,14	50	3,16	3,85	50	3,36	50	3,3	50		
17/nov	11,87	87,5	7,78	66,67	4,91	54,17	1,22	20,83	0,88	16,67	0,68	1,18	20,83	0,84	16,67	0,75	16,67		
18/nov	9,28	83,33	6,09	66,67	3,45	50	0,25	12,5	0,07	4,17	0,07	0,23	12,5	0,05	4,17	0,04	0		
30/nov	37,63	100	34,31	100	32,19	100	8,4	62,5	7,56	50	7,89	8,38	62,5	7,49	50	7,31	50		
06/dez	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
10/dez	19,56	100	17,44	100	14,92	95,83	0,55	20,83	0,32	16,67	0,25	0,51	16,67	0,27	16,67	0,2	8,33		
14/dez	36,93	100	30,19	95,83	26,34	91,67	8,67	75	7,99	66,67	7,99	8,93	66,67	7,89	66,67	7,52	58,33		
18/dez	25,17	66,67	22,69	62,5	20,47	62,5	6,67	37,5	6,27	33,33	6,53	6,73	37,5	6,23	33,33	5,93	33,33		
20/dez	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Σ =	349,41	1537,5	289,78	1483,34	211,76	1116,66	51,53	512,5	45,4	412,51	45,93	51,45	491,66	45,01	429,17	43,41	379,15		
÷ 4,16 =		369		356		268		115		99		89		118		103		91	

Orientação Norte - Primavera																								
Modelo Ma												Modelo P1						Modelo P2						
IPAV		3PAV		5PAV		IPAV		3PAV		5PAV		IPAV		3PAV		5PAV		IPAV		3PAV		5PAV		
GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	
24/set	41,16	100	36,12	95,83	13,8	54,17	7,23	37,5	2,83	16,67	33,33	7,14	37,5	7,1	33,33	7	33,33							
06/out	12,37	75	7,93	50	3,01	25	0,41	16,67	0,37	16,67	0,31	0,37	16,67	0,33	16,67	0,28	12,5							
07/out	25,28	83,33	20,65	66,67	5,7	41,67	2,77	25	2,61	25	2,46	25	2,73	25	2,56	25	2,42	25						
08/out	27,36	83,33	21,91	66,67	5,15	62,5	1,72	25	1,28	20,83	1,05	20,83	1,68	25	1,24	20,83	1,01	16,67						
13/out	13,78	91,67	9,76	83,33	7,76	50	4,1	29,17	3,79	29,17	3,56	4,04	8,33	3,73	33,33	3,5	29,17							
14/out	17,37	100	14,13	100	7,24	83,33	0,31	8,33	0,18	8,33	0,1	8,33	0,29	8,33	0,16	8,33	0,08	4,17						
16/out	37,67	100	32,78	100	25,37	95,83	8,69	54,17	7,87	45,83	7,37	45,83	8,63	50	7,67	41,67	7,29	45,83						
17/out	18,74	100	14,46	95,83	9,49	87,5	1,76	20,83	1,46	20,83	1,25	20,83	1,73	20,83	1,43	20,83	1,21	20,83						
21/out	45,9	100	42,62	100	18,01	100	5,51	50	4,79	45,83	4,37	41,67	5,13	41,67	4,55	8,33	4,19	37,5						
16/nov	31,37	100	28,64	100	25	100	7,38	58,33	6,53	58,33	5,97	54,17	7,35	58,33	6,35	54,17	5,9	54,17						
17/nov	15,35	91,67	11,82	87,5	7,82	83,33	2,59	29,17	2,23	25	2,01	25	2,55	29,17	2,18	25	1,95	25						
18/nov	9,33	91,67	6,48	83,33	2,42	58,33	2,06	33,33	1,68	29,17	1,4	29,17	2,03	33,33	1,64	29,17	1,35	29,17						
30/nov	37,47	100	34,4	100	31,37	100	10,87	79,17	9,54	70,83	8,79	66,67	10,88	83,33	9,46	70,83	8,72	66,67						
06/dez	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
10/dez	19,51	100	17,24	100	13,86	91,67	1,56	20,83	1,33	20,83	1,16	20,83	1,51	20,83	1,29	20,83	1,11	20,83						
14/dez	40,41	100	37,5	95,83	33,81	95,83	12,57	75	11,65	75	11,02	75	12,57	75	11,56	75	10,83	75						
18/dez	24,74	79,17	22,36	75	19,47	70,83	8,46	45,83	7,72	37,5	7,28	37,5	8,46	41,67	7,69	37,5	7,24	37,5						
20/dez	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
Σ =	417,81	1495,84	358,8	1399,99	229,28	1199,99	77,99	608,33	65,86	545,82	65,62	545,83	77,09	574,99	68,94	520,82	64,08	533,34						
÷ 4,16 =		359		336		256		146		131		131		138		125		128						

Orientação Leste - Primavera																													
Modelo Ma										Modelo P1										Modelo P2									
IPAV		3PAV		5PAV		IPAV		3PAV		5PAV		IPAV		3PAV		5PAV		IPAV		3PAV		5PAV							
GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT	GhDT	FDT						
24/set	18,65	58,33	12,77	33,33	4,63	37,5	5,2	33,33	5,6	25	3,8	25	5,06	33,33	4,95	25	3,85	25	5,06	33,33	4,95	25	3,85	25					
06/out	16,26	95,83	12,84	91,67	1,97	20,83	0,03	4,17	0,02	4,17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
07/out	21,09	50	12,98	33,33	5,62	29,17	1,77	25	1,62	20,83	1,2	20,83	1,66	25	1,53	20,83	1,6	20,83	1,66	25	1,53	20,83	1,6	20,83					
08/out	23,14	75	13,7	54,17	3,02	41,67	0,89	12,5	0,67	12,5	0,57	8,33	0,82	12,5	0,61	12,5	0,52	8,33	0,82	12,5	0,61	12,5	0,52	8,33					
13/out	28,84	100	24,66	95,83	7,39	41,67	2,94	25	2,68	25	2,51	20,83	2,83	25	2,57	25	1,35	20,83	2,83	25	2,57	25	1,35	20,83					
14/out	17,89	75	12,8	66,67	2,89	58,33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
16/out	55,31	100	51,32	100	24,1	100	6,92	41,67	6,27	37,5	5,01	37,5	6,71	41,67	6,08	37,5	4,76	37,5	6,71	41,67	6,08	37,5	4,76	37,5					
17/out	27,5	79,17	15,3	75	7,03	66,67	0,75	16,67	0,44	12,5	0,29	12,5	0,67	16,67	0,38	12,5	0,22	8,33	0,67	16,67	0,38	12,5	0,22	8,33					
21/out	46,36	100	42,88	100	17,78	100	4,69	41,67	4,01	33,33	3,59	29,17	4,49	45,83	3,83	37,5	3,35	29,17	4,49	45,83	3,83	37,5	3,35	29,17					
16/nov	32,52	100	28,06	100	19,7	100	4,13	54,17	2,92	45,83	2,4	45,83	3,79	50	2,63	45,83	1,96	45,83	3,79	50	2,63	45,83	1,96	45,83					
17/nov	15,84	91,67	10,53	87,5	6,92	79,17	1,63	25	1,19	25	0,92	20,83	1,47	25	1,03	20,83	0,78	20,83	1,47	25	1,03	20,83	0,78	20,83					
18/nov	10,91	87,5	6,76	66,67	3,68	62,5	0,39	20,83	0,1	4,17	0,04	4,17	0,27	8,33	0,07	20,83	0,01	4,17	0,27	8,33	0,07	20,83	0,01	4,17					
30/nov	36,99	100	33,38	100	29,6	95,83	8,47	58,33	7,59	58,33	6,23	50	8,18	58,33	7,25	54,17	6,73	45,83	8,18	58,33	7,25	54,17	6,73	45,83					
06/dez	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
10/dez	20	100	16,42	100	13,7	100	0,5	16,67	0,17	12,5	0,09	4,17	0,34	16,67	0,09	4,17	0,05	4,17	0,34	16,67	0,09	4,17	0,05	4,17					
14/dez	42,06	100	35,81	100	27,6	100	10,92	75	10,23	75	8,2	66,67	10,42	75	9,67	70,83	9,16	66,67	10,42	75	9,67	70,83	9,16	66,67					
18/dez	30,66	87,5	26,71	87,5	23,72	83,33	7,68	41,67	7,03	37,5	6,63	33,33	7,23	37,5	6,62	33,33	6,26	33,33	7,23	37,5	6,62	33,33	6,26	33,33					
20/dez	0,14	12,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
Σ =	444,16	1412,5	356,92	1291,67	199,35	1116,67	56,91	491,68	50,54	429,16	41,48	379,16	53,94	470,83	47,31	420,82	40,6	370,82	53,94	470,83	47,31	420,82	40,6	370,82					
÷ 4,16 =		339		310		268		118		103		91		113		101		89		113		101		89					