

Universidade Federal de Minas Gerais  
Escola de Arquitetura

Carla Patrícia Santos Soares

***Investigação do potencial de economia de energia com o uso de dispositivos de proteção solar no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais***

Belo Horizonte

Fevereiro, 2014

Carla Patrícia Santos Soares

Investigação do potencial de economia de energia com o uso de dispositivos de proteção solar nos Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais

Dissertação apresentada ao curso de *Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável* da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito para a obtenção do título de Mestre.

**Orientação:** Roberta Vieira Gonçalves de Souza

Belo Horizonte  
Fevereiro, 2014

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus Pais, eternos exemplos, pela força, amizade e por acreditarem nos meus desejos e realizações. Ao Drigo. Irmão. Amigo. Exemplo. Orgulho.

Ao Breno, meu amor, pelo presente incentivo e por acreditar acima de tudo nos resultados desta pesquisa. Pela paciência em entender, escutar e estudar eficiência energética e iluminação natural.

À minha orientadora Roberta Vieira, por se envolver nas minhas expectativas e me guiar pelo caminho mais preciso.

À Eletrobrás pelo apoio financeiro.

Às Professoras Joyce Carlo e Patrícia Jota pelas críticas construtivas durante a qualificação e por aceitarem o convite de participação na banca examinadora.

Aos demais professores da UFMG que contribuíram de alguma forma para o enriquecimento deste trabalho, em especial ao Prof. Eduardo Cabaleiro, Profa. Iraci Pereira, Profa. Rejane Loura. À Profa. Camila Ferreira pelos conselhos, considerações técnicas e amizade.

Aos colegas do Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética (Labcon – UFMG), pelo ajuda e incentivo em vários momentos. Ao bolsista Lucas pelo auxílio e dedicação. À bolsista Rafaela, pelo envolvimento e dedicação pelo trabalho, mesmo nos momentos distantes. À bolsista Raquel, pela paciência, envolvimento completo e excelente trabalho realizado.

Aos meus amigos, companheiros de trabalho, que tornam meu dia a dia mais leve e divertido, compartilhadores de sonhos: Paula, Ana, Caio e Gui. À Ana pela disponibilidade, orientações e trocas de experiências.

Às minhas amigas pela energia positiva e compreensão nos momentos de ausência.

À Deus.

## RESUMO

Apoiado pelo projeto de pesquisa CIE (Convênio ECV DTP 002/2011), que pretende estruturar o desenvolvimento de pesquisas da área de luz natural para colaboração com a Etiquetagem de Eficiência Energética de Edificações, esta dissertação visa contribuir para a otimização da avaliação do uso de dispositivos de proteção solar em edificações residenciais. O trabalho apresenta um cunho multidisciplinar uma vez que associa estudos de iluminação natural, desempenho térmico e comportamento humano para uma avaliação global da influência dos dispositivos de proteção solar nos ambientes. Lançado em 2010, o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) apresenta possibilidade de pontuação no sistema de avaliação a partir do uso de dispositivos de proteção solar. A pontuação varia de 0 a 1, sendo 0 para aberturas sem proteção solar e 1 apenas quando utilizadas venezianas. Outros dispositivos são pontuados a partir de dois outros métodos podendo receber pontuações máximas de 0,2 e 0,5 conforme o método aplicado. Contudo, os métodos que avaliam a presença de dispositivos que não venezianas acabam desfavorecendo a possibilidade de uma pontuação maior, ainda que os dispositivos em análise apresentem efetivo sombreamento e consequente diminuição de Graus hora de desconforto no período de insolação. Este estudo pretende, então, investigar o potencial de redução do consumo de energia e do desempenho térmico e luminoso quando utilizadas diferentes tipologias de proteção solar em aberturas, a fim de comparar e equalizar os valores das pontuações recebidas pelo Regulamento. Para realização desta pesquisa, foram feitas análises a partir do resultado de simulações computacionais integradas por dois softwares, *Daysim* e *EnergyPlus*, para as quatro orientações principais, em sete zonas bioclimáticas. As simulações foram compostas por dois ambientes simulados em 128 variações contendo sete dispositivos de proteção e um modelo sem proteção. Os resultados apontam que cada método de dimensionamento de dispositivos de proteção apresenta características específicas quanto ao desempenho luminoso, térmico e de consumo de energia. Os modelos com proteções solares projetadas a partir da referencia da carta solar apresentaram os maiores dimensionamentos dos dispositivos e uma menor demanda de graus-hora de resfriamento para todas as Zonas. Estes modelos alcançaram variações de até 42% de redução de graus-hora, em relação ao modelo sem proteção. Já os modelos dimensionados a partir da avaliação do RTQ-R e venezianas, 26%. Em relação ao consumo de energia, os potenciais de redução com o uso de sombreamento nas aberturas demonstraram que, para oeste, a redução de consumo em relação ao modelo sem proteção foi a maior, alcançando até 14,7% de economia, enquanto para sul, alcançam-se até 2,9%. Os resultados das simulações permitiram gerar uma escala de pontuação para os dispositivos e demonstraram uma incompatibilidade dos valores resultantes das simulações aos valores praticados pelo RTQ-R. Notou-se resultados com pontuações significativamente superiores à máxima atribuída às venezianas, alcançando valores de até 4,21 pontos. Concluiu-se também que a necessidade de sombreamento nas aberturas e as pontuações recebidas variam significativamente entre as Zonas Bioclimáticas e com relação a orientação solar, e, por isso, observa-se a necessidade de se adotar valores de pontuação setorizados.

**Palavras-chave:** Proteção solar, Eficiência energética, RTQ-R.

## ABSTRACT

Supported by the CIE research project (Grant DTP ECV 002/2011), which intends to structure the development of researchs in the field of natural light for collaboration with the Buildings Energy Efficiency Labeling, this thesis aims to contribute to optimize shading devices evaluation in residential buildings. Launched in 2010, the Brazilian Energy Labeling Schemes for Residential Buildings (RTQ-R) presents scoring possibility in the rating system when using shading devices. The score ranges from 0 (zero) to 1 (one), being 0 when there is no shading device and 1 only when there are shutters. Other shading devices are scored based on two other methods and may receive scores of up to 0.2 (zero point two) or 0.5 (zero point five) points, depending of the method used. Nevertheless, the methods that assess the presence of devices other than shutters do not allow them to get higher scores, even though these devices show effective shading during sunlight periods and a consequent decrease in hour-degrees of discomfort. So this study intends to investigate the potential energy savings in addition to the thermal and luminic performance when are used different shading devices typologies, in order to compare and equalize the scores given by RTQ-R to the devices. For this purpose, analyses were made through integrated computer simulation using the software Daysim and EnergyPlus for the four main solar orientations and for seven cities in Brazil. The simulations were performed for two rooms with 128 variations using seven different shading devices and a model without any device. The results show that every method of shading device sizing has specific characteristics regarding its luminous, thermal and energy performance. The models in which the shading devices were designed using the solar chart showed the largest devices sizing, but a lower cooling hour-degrees demand for all Bioclimatic Zones. These models achieved up to 42% less hour-degrees than the model without shading devices. In other way, the models designed from RTQ-R evaluation and presence of shutters, only 26%. Concerning the energy performance, the potential saving by using shading devices was the highest for west-facing openings, achieving reduction of up to 14.7% when compared to the model without devices, while for south-facing openings it achieved up to 2.9%. The simulations results allowed the creation of a rating scale for the devices and showed an incompatibility between the simulations scores and the ones given by the RTQ-R. Frequently, the simulations results showed significantly higher scores than the maximum given to the shutters by the RTQ-R, achieving up to 4.21 points. It was also found that the scores are significantly different between the Bioclimatic Zones and solar orientations and therefore it is necessary to adopt zoned scores.

**Key words:** Solar shading, Energy Efficiency, RTQ-R.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|                   |                                                                                                                              |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ABNT              | Associação Brasileira de Normas Técnicas                                                                                     |
| AHS               | Ângulo Horizontal de Sombreamento                                                                                            |
| ASHRAE            | <i>American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers</i>                                             |
| AVS               | Ângulo Vertical De Sombreamento                                                                                              |
| BEN               | Balanco Energético Nacional                                                                                                  |
| CA                | Consumo por Aquecimento                                                                                                      |
| CIE               | <i>Commission Internationale de l'Eclairage</i>                                                                              |
| CR                | Consumo de Refrigeração                                                                                                      |
| COP               | <i>Cooling Coil Rated, Heat Pump Heating Coil Rated</i>                                                                      |
| DA                | <i>Daylight Autonomy</i>                                                                                                     |
| DAcon             | <i>Continuous Daylight Autonomy</i>                                                                                          |
| DAm <sub>ax</sub> | <i>Daylight Autonomy Maximum</i>                                                                                             |
| DF                | <i>Daylight Factor</i>                                                                                                       |
| GH                | Graus-hora                                                                                                                   |
| GHR               | Graus-hora Resfriamento                                                                                                      |
| HVAC              | <i>Heating, Ventilating and Air Conditioning</i>                                                                             |
| IBGE              | Instituto de Geografia e Estatística                                                                                         |
| INMETRO           | Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial                                                        |
| LABEEE            | Laboratório de Eficiência Energética em Edificações                                                                          |
| L23               | Dispositivo de proteção externo horizontal dimensionado de acordo com RTQ-R – Método das Latitudes                           |
| NBR               | Norma Brasileira                                                                                                             |
| NRCC              | <i>National Research Council Canada</i>                                                                                      |
| PROCEL            | Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica                                                                         |
| PTI               | Dispositivos de proteção externos com sombreamento durante o período de luz natural útil de 7:40 às 16:20 - Placas inteiras  |
| PTF               | Dispositivos de proteção externos com sombreamento durante o período de luz natural útil de 7:40 às 16:20 – Placas filetadas |

|       |                                                                                                                        |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| RTQ-R | Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais                     |
| RTQ-C | Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos |
| RH    | Umidade Relativa                                                                                                       |
| SP    | Sem Proteção                                                                                                           |
| TBS   | Temperatura do Ar de Bulbo Seco                                                                                        |
| TBU   | Temperatura do Ar de Bulbo Úmido                                                                                       |
| TMY2  | <i>Test Meteorological Year</i>                                                                                        |
| TN    | Método Anexo 1- Texto RTQ-R                                                                                            |
| TRY   | <i>Test Reference Year</i>                                                                                             |
| UH    | Unidade Habitacional                                                                                                   |
| UDI   | Iluminância Natural Útil                                                                                               |
| UFSC  | Universidade Federal de Santa Catarina                                                                                 |
| V90   | Veneziana externa com área de abertura máxima para iluminação                                                          |
| V45   | Veneziana externa com área de abertura para iluminação de 45%                                                          |
| VRTQR | Veneziana com acionamento no período de verão para as Zonas 1 a 4 e sempre acionada para as demais Zonas               |
| ZB    | Zona Bioclimática                                                                                                      |

## SUMÁRIO

|                                                                                                         |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO.....</b>                                                                               | <b>10</b> |
| 1.1. JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TEMA PROPOSTO.....                                                   | 11        |
| 1.2. OBJETIVOS .....                                                                                    | 12        |
| 1.2.1. OBJETIVO GERAL .....                                                                             | 12        |
| 1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                                                                      | 12        |
| 1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO.....                                                                         | 13        |
| <b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>                                                                    | <b>14</b> |
| 2.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DO CENÁRIO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA .....                              | 14        |
| 2.2. ILUMINAÇÃO NATURAL .....                                                                           | 15        |
| 2.2.1. ANÁLISE DA DISPONIBILIDADE DE LUZ NATURAL .....                                                  | 15        |
| 2.2.2. PARÂMETROS DE ILUMINAÇÃO NATURAL EM AMBIENTES INTERNOS.....                                      | 18        |
| 2.3. DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO SOLAR.....                                                                | 22        |
| 2.3.1. TIPOLOGIAS DE PROTEÇÃO CARACTERÍSTICAS DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS.....                          | 25        |
| 2.3.1. MÉTODOS PARA DIMENSIONAMENTO DE DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO SOLAR .....                             | 31        |
| 2.3.2. DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO SOLAR E CONSUMO DE ENERGIA .....                                        | 38        |
| 2.4. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NA ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO E LUMINOSO<br>DE AMBIENTES INTERNOS ..... | 41        |
| 2.4.1. MEDIDAS DE ILUMINAÇÃO NATURAL .....                                                              | 42        |
| 2.4.2. DAYSIM 3.0.....                                                                                  | 44        |
| 2.4.3. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL TERMOENERGÉTICA.....                                                     | 47        |
| 2.4.4. SIMULAÇÃO ENERGÉTICA INTEGRADA.....                                                              | 48        |
| 2.5. REGULAMENTO BRASILEIRO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS                          | 49        |
| 2.5.1. METODOLOGIA DO CÁLCULO DO <i>SOMB</i> NO RTQ-R .....                                             | 50        |
| 2.5.2. CARACTERÍSTICAS ADOTADAS PARA BASE DE SIMULAÇÕES NA ELABORAÇÃO DO RTQ-R.....                     | 52        |
| <b>3. METODOLOGIA .....</b>                                                                             | <b>55</b> |
| 3.1. CONSTRUÇÃO DOS MODELOS .....                                                                       | 57        |
| 3.1.1. MODELO DE DISTRIBUIÇÃO SOLAR.....                                                                | 57        |
| 3.1.2. ARQUIVO CLIMÁTICO E CIDADES DE ANÁLISE .....                                                     | 57        |
| 3.1.3. MODELOS DE EDIFICAÇÃO ADOTADOS.....                                                              | 59        |

|             |                                                                                                                                                |           |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.1.4.      | ÁREA DE VENTILAÇÃO E ÁREA ENVIDRAÇADA .....                                                                                                    | 60        |
| 3.1.5.      | PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS COMPONENTES DA ENVOLTÓRIA .....                                                                                      | 61        |
| 3.1.6.      | REFLETÂNCIA DOS MATERIAIS .....                                                                                                                | 62        |
| 3.1.7.      | PADRÃO DE OCUPAÇÃO.....                                                                                                                        | 62        |
| 3.1.8.      | PADRÃO DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL .....                                                                                                          | 63        |
| 3.1.9.      | PADRÃO DE EQUIPAMENTOS .....                                                                                                                   | 66        |
| 3.1.10.     | CRITÉRIOS PARA A VENTILAÇÃO NATURAL DOS AMBIENTES.....                                                                                         | 66        |
| 3.1.11.     | PADRÃO DE USO DO HVAC .....                                                                                                                    | 67        |
| <b>3.2.</b> | <b>DIMENSIONAMENTO DOS DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO SOLAR .....</b>                                                                                | <b>69</b> |
| 3.2.1.      | PROTÓTIPO SEM PROTEÇÃO (SP) .....                                                                                                              | 69        |
| 3.2.2.      | PROTÓTIPO COM VENEZIANA EXTERNA DEFINIDA DE ACORDO COM O MODELO ADOTADO PARA A<br>ELABORAÇÃO DO RTQ-R (VRTQR) .....                            | 70        |
| 3.2.3.      | PROTÓTIPO COM VENEZIANA COM ABERTURA DE ATÉ 45% DA ÁREA (V45) .....                                                                            | 71        |
| 3.2.4.      | PROTÓTIPO COM VENEZIANA COM ABERTURA COMPLETA DA ÁREA (V90) .....                                                                              | 72        |
| 3.2.5.      | PROTÓTIPO COM DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO SOLAR HORIZONTAIS DEFINIDOS PELO MÉTODO DAS<br>LATITUDES DO RTQ-R (L23).....                            | 73        |
| 3.2.6.      | PROTÓTIPO COM DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO SOLAR SEGUNDO O MÉTODO DO ANEXO 1 DO RTQ-R<br>(TN) 74                                                   |           |
| 3.2.7.      | PROTÓTIPO COM DISPOSITIVO DE PROTEÇÃO SOLAR PARA SOMBREAMENTO DAS 7H40 ÀS 16H20<br>(70% DAS HORAS DE INSOLAÇÃO) – PLACA INTEIRA (PTI) .....    | 75        |
| 3.2.8.      | PROTÓTIPO COM DISPOSITIVO DE PROTEÇÃO SOLAR PARA SOMBREAMENTO DAS 7H40 ÀS 16H20<br>(70% DAS HORAS DE INSOLAÇÃO) – PLACAS FILETADAS (PTF) ..... | 77        |
| <b>3.3.</b> | <b>COMPARATIVO ENTRE PARÂMETROS ADOTADOS PELAS SIMULAÇÕES DO RTQ-R .....</b>                                                                   | <b>77</b> |
| <b>3.4.</b> | <b>SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS .....</b>                                                                                                         | <b>79</b> |
| 3.4.1.      | SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE ILUMINAÇÃO .....                                                                                                    | 80        |
| 3.4.2.      | SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL TERMOENERGÉTICA.....                                                                                                   | 81        |
| <b>3.5.</b> | <b>PROCESSAMENTO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>                                                                                            | <b>81</b> |
| 3.5.1.      | DIMENSIONAMENTO DOS DISPOSITIVOS .....                                                                                                         | 81        |
| 3.5.2.      | ANÁLISE DE ILUMINAÇÃO NATURAL.....                                                                                                             | 82        |
| 3.5.3.      | ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO .....                                                                                                            | 82        |
| 3.5.1.      | ANÁLISE DE CONSUMO DE ENERGIA .....                                                                                                            | 84        |
| 3.5.2.      | DISCUSSÃO SOBRE A AVALIAÇÃO DA PRESENÇA DE SOMBREAMENTO EM ABERTURAS NO RTQ-R.....                                                             | 84        |

|                                                                                                                                              |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS .....</b>                                                                                            | <b>85</b>  |
| <b>4.1. DIMENSIONAMENTO DOS DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO SOLAR .....</b>                                                                         | <b>85</b>  |
| <b>4.2. ILUMINAÇÃO NATURAL .....</b>                                                                                                         | <b>92</b>  |
| 4.2.1. SISTEMA DE ACIONAMENTO DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL.....                                                                                  | 92         |
| 4.2.2. PORCENTAGEM DE ACIONAMENTO DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL.....                                                                              | 96         |
| <b>4.3. DESEMPENHO TÉRMICO COM O USO DE DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO SOLAR.....</b>                                                              | <b>100</b> |
| 4.3.1. ORIENTAÇÃO NORTE.....                                                                                                                 | 102        |
| 4.3.2. ORIENTAÇÃO SUL.....                                                                                                                   | 104        |
| 4.3.3. ORIENTAÇÕES LESTE E OESTE.....                                                                                                        | 105        |
| <b>4.4. CONSIDERAÇÕES RELATIVAS AO CONSUMO DE ENERGIA E O USO DE DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO SOLAR.....</b>                                     | <b>109</b> |
| <b>4.5. DISCUSSÃO SOBRE O MÉTODO DE AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS DE SOMBREAMENTO NO RTQ-R.....</b>                                                 | <b>118</b> |
| 4.5.1. DISCUSSÃO ACERCA DO PROCEDIMENTO DE AVALIAÇÃO DA PRESENÇA DE SOMBREAMENTO NO MÉTODO PRESCRITIVO DO RTQ-R – VARIÁVEL <i>SOMB</i> ..... | 118        |
| 4.5.1.1. ZONA BIOCLIMÁTICA 1 .....                                                                                                           | 119        |
| 4.5.1.2. ZONA BIOCLIMÁTICA 2 .....                                                                                                           | 121        |
| 4.5.1.3. ZONA BIOCLIMÁTICA 3 .....                                                                                                           | 123        |
| 4.5.1.4. ZONA BIOCLIMÁTICA 4 .....                                                                                                           | 125        |
| 4.5.1.5. ZONA BIOCLIMÁTICA 6 A 8 .....                                                                                                       | 126        |
| 4.5.2. DISCUSSÃO ACERCA DA VARIÁVEL <i>SOMB</i> NAS EQUAÇÕES DO MÉTODO PRESCRITIVO DO RTQ-R .....                                            | 129        |
| <b>5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>                                                                                            | <b>134</b> |
| <b>5.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....</b>                                                                                                     | <b>134</b> |
| <b>5.2. ANÁLISE DE RESULTADOS .....</b>                                                                                                      | <b>136</b> |
| <b>5.3. SUGESTÕES DE ALTERAÇÕES DO TEXTO DO RTQ-R .....</b>                                                                                  | <b>142</b> |
| <b>5.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>                                                                                                       | <b>146</b> |
| 5.4.1. LIMITAÇÕES PARA REALIZAÇÃO DO TRABALHO .....                                                                                          | 146        |
| 5.4.2. SUGESTÕES PARA TRABALHO FUTUROS.....                                                                                                  | 147        |
| <b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>                                                                                                   | <b>147</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

Esta dissertação faz parte do projeto de pesquisa CIE (Convênio nº ECV DTP 002/2011), desenvolvido com o apoio financeiro da Eletrobrás (Centrais Elétricas Brasileiras S.A.) que pretende estruturar o desenvolvimento de pesquisas da área de Luz Natural para colaboração com a Etiquetagem de Eficiência Energética de Edificações.

Em países tropicais, como o Brasil, a luz natural é um importante recurso utilizado para a redução do consumo de energia nas edificações, uma vez que possibilita a substituição, mesmo que em partes, da luz artificial no ambiente interno. Contudo, o uso indiscriminado da admissão da luz natural em edificações em climas quentes acaba por favorecer situações desfavoráveis de ofuscamento ou sobrecarga térmica oriunda da insolação, o que repercute em soluções imediatistas de bloqueio da luz solar com consequente obstrução da entrada de luz natural no ambiente.

Os dispositivos de proteção solar são importantes ferramentas utilizadas no controle da radiação em ambientes internos. Contudo, para alcance de maior desempenho, eles devem ser projetados de forma a potencializar a integração da luz natural ao ambiente. Esta tipo consideração no projeto dos elementos de proteção solar permite mitigar tanto os efeitos negativos de desconforto térmico quando efeitos de escurecimento ao ambiente e consequente acionamento dos sistemas artificiais.

Pesquisas atuais, como as desenvolvidas por Viviane Silva e Milena Cintra da Universidade de Brasília (Unb), buscam maneiras para melhor compreender e aplicar a luz natural nas edificações e avaliar o seu potencial de aproveitamento, mitigando seus efeitos negativos. Em ambas as pesquisas, salienta-se a importância de integrar sua utilização a sistemas de iluminação artificial e dispositivos de proteção solar que possam garantir maior desempenho ao ambiente e assim, promover a eficiência energética em edificações (SILVA,2011);(CINTRA,2011).

Como importante medida governamental brasileira de eficiência energética foi lançada a Lei nº 10295, sancionada em outubro de 2001, com o objetivo de abordar a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Dentro do Programa Brasileiro de

Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), foi criado o segmento PROCEL-EDIFICA especificamente para edificações, onde o Grupo Técnico para “Eficientização de Energia nas Edificações no País” (BRASIL, 2001) foi responsável pelo desenvolvimento dos Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios comerciais, de serviços e públicos (RTQ-C) e do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). Como objeto dessa pesquisa, foi estudado o RTQ-R lançado pela Portaria nº 449 do Inmetro (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial) em 25 de novembro de 2010 e revisado pela portaria 18 em 16 de janeiro de 2012 (BRASIL, 2012). Este regulamento visa estipular referências quanto ao desempenho energético das edificações a partir de valores e métodos comparativos para classificar a edificação como mais ou menos eficiente em relação ao consumo de energia. Avalia estratégias de projeto quanto ao dimensionamento das aberturas, dos sistemas de sombreamento, do desempenho dos sistemas de aquecimento de água e equipamentos e especificações dos sistemas de vedação.

#### 1.1. JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TEMA PROPOSTO

A motivação da escolha do tema para o trabalho é a de contribuir para o incremento do Regulamento Técnico da Qualidade em Eficiência Energética para Edificações Residenciais (RTQ-R), a partir de uma revisão dos estudos realizados com proteções solares e da investigação dos métodos de determinação da variável *somb* que avalia “a presença de dispositivos de proteção solar externos às aberturas”. Além disso, pretende-se realizar um estudo que possa incentivar o uso adequado de elementos de sombreamento e difundir a arquitetura bioclimática como estratégia de projeto.

O estudo busca comparar diversas formas de dimensionamento de dispositivos de proteção solar e vincular o desempenho térmico e o desempenho de iluminação natural do ambiente ao consumo de energia.

O trabalho apresenta um cunho multidisciplinar, uma vez que a avaliação do dimensionamento de dispositivos de proteção solar, deve envolver diversas áreas do

conhecimento relativas a preocupações de desempenho térmico, luminoso e de comportamento humano. Sendo assim, é necessário um estudo acerca de áreas de engenharia, arquitetura e ciências sociais a fim de uma avaliação global da influência dos dispositivos de proteção solar no ambiente.

## 1.2. OBJETIVOS

### 1.2.1. Objetivo geral

Investigar, por meio do uso da simulação computacional de métricas dinâmicas, a influência de dispositivos de proteção solar no comportamento térmico e luminoso de ambientes residenciais, considerando o contexto brasileiro, com intuito de contribuir para o aperfeiçoamento do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível Eficiência Energética de Edificações Residenciais.

### 1.2.2. Objetivos Específicos

Como objetivos específicos, destacam-se:

- Avaliar diferentes métodos de dimensionamento de dispositivos de proteção solar para um mesmo modelo de abertura em diferentes condições climáticas brasileiras;
- Gerar uma metodologia de dimensionamento de proteções solares mais adequada para comparação com a escala usada na determinação da variável *Somb* do RTQ-R.
- Avaliar o desempenho lumínico e termoenergético de ambientes residenciais com uso de dispositivos de proteção solar dimensionados a partir dos métodos de avaliação de sombreamento apresentados no RTQ-R e no novo método criado;
- Investigar a economia de energia gerada pelo uso da iluminação natural em conjunto com o ganho de calor através das aberturas em que haja proteção solar;
- Discutir os métodos de avaliação da presença de sombreamento em aberturas

do RTQ-R;

- Contribuir para a construção do aprimoramento do método de avaliação da presença de sombreamento em aberturas pelo RTQ-R.

### 1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

A presente pesquisa está estruturada em cinco capítulos. Neste capítulo o contexto do trabalho foi introduzido, sua proposta foi apresentada e seus objetivos foram explicitados.

O capítulo 2 corresponde à revisão bibliográfica relacionada a estudos já desenvolvidos sobre o tema e diretrizes de legislações vigentes. O tema é introduzido com uma breve contextualização do cenário de eficiência energética e, a seguir, são apresentados conceitos de iluminação natural, ferramentas e parâmetros necessários para simulação e análise de desempenho energético e luminoso. Em seguida, o texto discorre a respeito dos mecanismos de proteção solar em edificações e apresenta o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R).

A metodologia da pesquisa é apresentada no capítulo 3, a qual foi dividida em quatro etapas: construção dos modelos, dimensionamento dos dispositivos, simulações computacionais de iluminação natural e artificial e simulações termoenergéticas. A construção dos modelos foi baseada nas tipologias, padrões e parâmetros específicos das simulações adotados no desenvolvimento das equações preditivas do RTQ-R e divulgados por LABEEE (2011b). Algumas variações relativas à incorporação das análises de dispositivos de proteção solar foram adotadas em relação à metodologia do trabalho original.

O capítulo 4 contempla os resultados e discussões. Os primeiros resultados apresentados são referentes ao dimensionamento dos dispositivos e ao acionamento dos sistemas de sombreamento. Logo, encontram-se as análises da influência dos dispositivos de proteção solar quanto à necessidade e tipo de acionamento da iluminação artificial no ambiente. Na sequência foram avaliados os dispositivos de

proteção solar com relação ao desempenho térmico e energético. E por fim, feita uma discussão acerca do peso da variável *somb* relacionado aos resultados encontrados nesta dissertação.

Por fim, no capítulo 5 são apresentadas as conclusões, as limitações da pesquisa e sugestões para trabalhos futuros.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DO CENÁRIO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

Os recursos naturais a partir dos quais a energia elétrica é gerada eram tidos como abundantes e baratos, proporcionando seu uso exacerbado e a dependência aos mesmos. Após muitos anos de uso intenso e indiscriminado, surgiram crises provenientes da escassez dos recursos, como a crise do petróleo na década de 70, que afetou a economia mundial e despertou olhares para outras fontes de energia. (BRASIL, 2012).

No Brasil, a crise energética de 2001, ocasionada pelos baixos níveis de água nos reservatórios das usinas hidrelétricas e pela falta de investimentos no setor, provocou o racionamento de energia abalando a economia e a cultura de consumo do país. (BRASIL, 2012). Sendo assim, novas preocupações em relação à questão energética foram trazidas como: a geração de energia limpa e redução do consumo de energia através da conscientização da população e do aumento da eficiência dos equipamentos e das edificações. (BRASIL, 2001)

Estima-se que 47,6% da energia elétrica produzida no Brasil seja consumida na construção, operação, manutenção e reforma das edificações. Esse consumo é distribuído entre os setores residencial (23,6%), comercial (16%) e público (8,0%) (BEN, 2013). Segundo Sorgato (2009), a energia elétrica consumida nas edificações depende significativamente das demandas requeridas pelos sistemas artificiais para proporcionar condições aceitáveis para produtividade e conforto dos ocupantes nos ambientes internos. Assim, devem ser aprimoradas as relações entre conforto e

eficiência energética e destaca-se a importância de se adotar estratégias passivas em climas tropicais como no Brasil.

## 2.2. ILUMINAÇÃO NATURAL

Pode-se notar que o recente interesse pelas questões ambientais, que focaliza também na busca da eficiência energética e da qualidade e conforto ambiental em edifícios, estimulou um retorno ao uso da luz natural nos edifícios. Apesar de a necessidade de uso da iluminação natural ter existido durante a maior parte da história da arquitetura, fatores sociais, econômicos e climáticos fizeram variar o peso deste critério no desenvolvimento de projetos. (ROAF, 2009)

A luz natural tem como características básicas, além da disponibilidade durante grande parte do dia, o excelente índice de reprodução de cor, a possibilidade de altos índices de iluminação no ambiente interno e a aplicabilidade para redução do consumo de energia.

No Brasil, localizado entre as latitudes 5° e 34° Sul, a disponibilidade de luz natural é alta. Recebemos quantidades de luz que, na condição de céu claro, podem ultrapassar os 70.000 lux ao meio-dia no Solstício de Inverno e os 100.000 lux ao meio-dia no Solstício de Verão (FROTA, 2004). Dessa forma, é notório o potencial de aproveitamento da luz natural nos ambientes internos no país. Contudo, é necessário conhecer as características e especificidades de cada localidade e o impacto do aproveitamento da luz no ambiente interno.

### 2.2.1. Análise da disponibilidade de luz natural

A disponibilidade de luz natural relativa a movimentos diários e sazonais do sol na abóbada celeste produz um padrão de quantidade e direcionalidade da luz natural de acordo com a localidade do globo terrestre. Tal disponibilidade é diretamente influenciada por mudanças de clima, temperatura e poluição do ar (IESNA, 2000).

Para entender a implicação da dinamicidade da luz natural, é importante considerar que a radiação solar, quando atinge a atmosfera terrestre, é dividida entre a porção

direta e difusa. A radiação direta, como diz o próprio nome, é a parcela que atinge diretamente a terra. A radiação difusa é a parcela que sofre um espalhamento pelas nuvens e pelas partículas da atmosfera, sendo refletida na abóbada celeste e nas nuvens e reirradiada para a terra. Um céu muito nublado pode apresentar uma parcela de radiação difusa maior que a parcela direta, enquanto o céu claro, sem nuvens, apresenta uma parcela maior da radiação direta. Em climas frios, a penetração da radiação direta nos ambientes internos é desejável para promover aquecimento, ao contrário de climas quentes, onde a porção direta deve ser evitada, sendo somente a radiação difusa desejável para promover a iluminação do ambiente.

Sendo assim, uma vez que a dinamicidade da luz natural demanda informações específicas da região onde se projeta, nota-se a necessidade de um conjunto de ferramentas que auxiliem os projetistas de edificações a equacionar adequadamente os gastos e benefícios do uso de estratégias bioclimáticas no intuito de elaborar edificações mais sustentáveis. Para a implementação de diretrizes de projeto em iluminação natural, deve-se conhecer as fontes de luz natural, suas faixas de ocorrência, sua flutuabilidade e sua eficácia. (SOUZA, 2004). A seguir, estão apresentados dois trabalhos que definem faixas de ocorrência relacionadas à disponibilidade de luz natural aplicáveis ao projeto.

Cintra (2011), durante seu trabalho de dissertação, investigou a influência da profundidade de ambientes em edificações residenciais a partir de simulações computacionais realizadas no software *Daysim*. Para análise da disponibilidade da luz natural em ambientes, a autora sugeriu uma adequação às horas de sol para cada localidade. Para isso, a partir da avaliação da carta solar, determinou que as horas de sol a serem consideradas para as simulações realizadas seriam uma hora após o nascer do sol até uma hora antes do por do sol, durante o solstício de inverno, correspondente ao período mais curto de sol. Este horário de disponibilidade de luz natural foi definido conforme a Tabela 1.

Tabela 1 Horário de ocupação utilizado nas simulações de luz natural

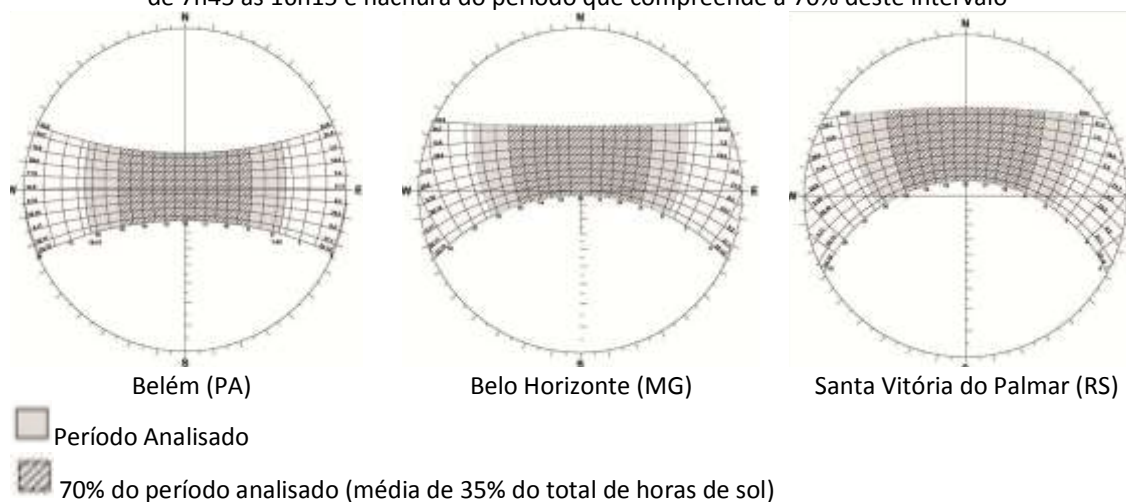
| Cidade         | Latitude | Solstício Inverno |            | Horário utilizado nas simulações |       |
|----------------|----------|-------------------|------------|----------------------------------|-------|
|                |          | Nasce às:         | Se põe às: | A partir:                        | Até:  |
| São Luís       | 3°21'    | 06h00             | 18h00      | 07h00                            | 17h00 |
| Natal          | 5°47'    | 06h00             | 18h00      | 07h00                            | 17h00 |
| Maceió         | 9°21'    | 06h15             | 17h45      | 07h15                            | 16h45 |
| Salvador       | 12°58'   | 06h15             | 17h45      | 07h15                            | 16h45 |
| Brasília       | 15°55'   | 06h30             | 17h30      | 07h30                            | 16h30 |
| Belo Horizonte | 19°55'   | 06h45             | 17h15      | 07h45                            | 16h15 |
| Rio de Janeiro | 22°54'   | 06h45             | 17h15      | 07h45                            | 16h15 |
| São Paulo      | 23°32'   | 06h45             | 17h15      | 07h45                            | 16h15 |
| Curitiba       | 25°25'   | 06h45             | 17h15      | 07h45                            | 16h15 |
| Florianópolis  | 27°10'   | 07h00             | 17h00      | 08h00                            | 16h00 |
| Porto Alegre   | 30°01'   | 07h00             | 17h00      | 08h00                            | 16h00 |

Fonte: Adaptado de CINTRA, 2011

A partir deste estudo de Cintra (2011), Guedes (2012) considerou a definição do RTQ-R para determinar as horas de disponibilidade da luz natural que exige a comprovação do nível de iluminância no ambiente durante 70% das horas com luz natural no ano.

Inicialmente, para definição do período de disponibilidade de iluminação natural para as simulações, Guedes (2012) considerou o horário do solstício de inverno como proposto por Cintra (2011). Contudo, a autora constatou que o horário de simulação determinado pelo Regulamento abrangeria, 35% das horas com disponibilidade de luz, conforme representado na Figura 1 .

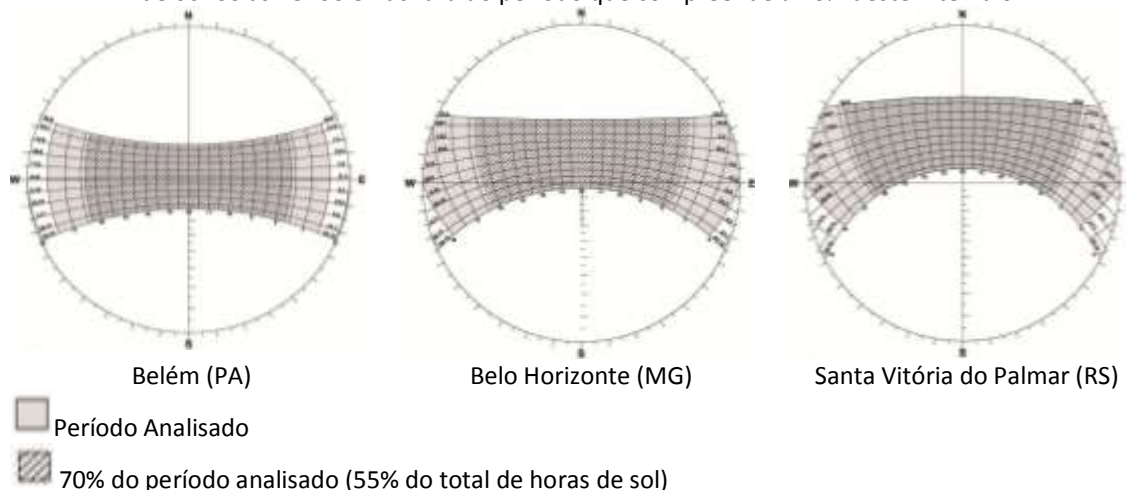
Figura 1 Carta solar das cidades indicadas de acordo com Guedes (2012), com sobreposição do horário de 7h45 as 16h15 e hachura do período que compreende a 70% deste intervalo



Fonte: GUEDES, 2012.

Desta forma, o atendimento ao requisito do RTQ-R é verificado para aproximadamente um terço do tempo durante o qual se poderia ser eliminada ou minimizada a utilização da iluminação artificial. Após esta análise, Guedes (2012) considerou o horário de 6h00 às 18h00 como horário de duração média do dia. A partir deste horário, selecionou 70% do período para chegar a um período médio de disponibilidade de luz natural adequado às exigências do RTQ-R. A autora aplicou este método para as mesmas três cidades apresentadas anteriormente e caracterizadas pela extremidade de suas localidades (Figura 2). Este estudo foi feito com intuito de comprovar que este horário poderia ser aplicável em todo o país.

Figura 2 - Carta solar das cidades indicadas de acordo com Guedes (2012), com sobreposição do horário de 06h00 às 18h00 e hachura do período que compreende a 70% deste intervalo



Fonte: GUEDES, 2012.

O período de 70% das horas analisadas como disponibilidade média de luz natural correspondeu ao período das 7h40 às 16h20 (55% do total de horas de sol) e foi distribuído de forma espelhada a partir do meio dia. Segundo a autora, o novo período avaliado mostrou-se mais adequado, por ampliar a exigência de uso da iluminação natural.

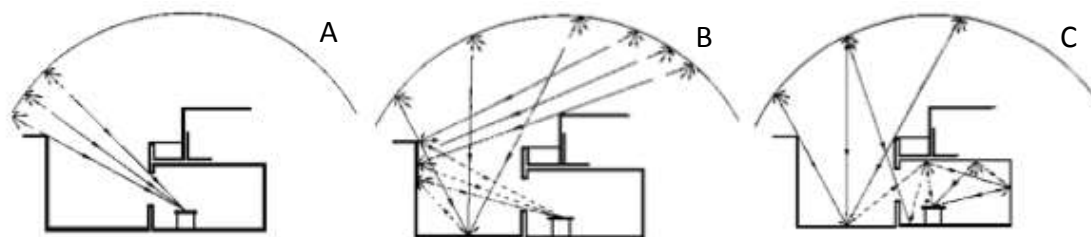
#### 2.2.2. Parâmetros de iluminação natural em ambientes internos

De acordo com a NBR 15215-3 (ABNT, 2005), dentre os fatores influentes da disponibilidade de luz e transmissão de calor para dentro da edificação, destacam-se três fontes componentes de luz natural. São elas:

- Luz que vem diretamente do céu (componente celeste) advinda da radiação solar direta e radiação difusa da abóbada solar.
- Luz que vem das superfícies externas (componente de reflexão externa), advinda dos edifícios e do entorno.
- Luz que vem das superfícies internas (componente de reflexão interna), advinda das paredes, teto, piso etc.

A Figura 3 demonstra a luz proveniente do sol e suas componentes de reflexão no ambiente interno com aberturas laterais.

Figura 3 - Luz proveniente do sol. A) Componente celeste. B) Componente de reflexão externa. C) Componente de reflexão interna.



Fonte: NBR 15215-3 ABNT , 2005.

Robbins (1986) relata que além da localização das aberturas, a iluminação natural em um ambiente deriva das relações geométricas entre o tamanho, a forma das aberturas e a relação do espaço a ser iluminado. Dessa forma, é necessário conhecer o tipo de abertura e sua influência na admissão e contribuição da luz natural no interior do ambiente pois, se mal projetada, através da insolação direta, pode causar ganho de calor, ofuscamento e excessivo contraste. (ROBBINS, 1986).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) possui atualmente normas que regulamentam a iluminação natural ou artificial de interiores. A NBR 15215-1 a 4 (ABNT, 2005a; 2005b; 2005c) abordam o uso da luz natural em edificações, incluindo os procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural e para a determinação da iluminação natural em ambientes internos.

A NBR 5413 (ABNT, 1992) estabelece os valores de iluminâncias médias mínimas em serviço para iluminação artificial em interiores, onde se realizem atividades de comércio, indústria, ensino, esporte e outras. Para ambientes residenciais a norma

indica como nível mínimo de iluminância de 100 lux. Em 2013, esta norma foi substituída pela ISO 8995 (ABNT, 2013), porém, esta é direcionada para ambientes de trabalho internos e não contempla requisitos para ambientes residenciais.

Na NBR 15575 (ABNT, 2013), Edificações habitacionais – Desempenho, são abordadas diversas questões sobre o desempenho de edificações residenciais, com o foco "[...] nas exigências dos usuários para o edifício habitacional e seus sistemas, quanto ao seu comportamento em uso [...]" (ABNT, 2013). No item Conforto Lumínico, essa norma define que durante o dia os ambientes de permanência prolongada, além da cozinha, área de serviço e banheiros devem atender ao nível mínimo de iluminância de 60 lux apenas com iluminação natural. A norma é respaldada pela indicação da Norma alemã DIN 5034 (DEUTSCHES..., 1997), que recomenda que, para iluminação natural, sejam utilizados 60% do indicado pela norma de iluminação artificial (ALUCCI, 2007).

No entanto, Reinhart (2005) indica que, o nível mínimo de iluminância natural útil seria de 100 lux e valores abaixo deste nível são considerados insuficientes para realização de tarefas gerais. Este parâmetro é refundado por pesquisa realizada por Nabil e Mardaljevic (2005), baseada em questionários quanto às preferências de ocupantes em escritórios com luz natural (NABIL; MARDALJEVIC, 2005).

Em relação ao tamanho e forma das aberturas, Ghisi, Tinker e Ibrahim (2005) destacam a relação da área de abertura e da forma do ambiente com o consumo de energia. O estudo objetivou confrontar resultados obtidos através de simulações computacionais utilizando o programa *VisualDOE* com informações obtidas na literatura sobre área de janela para se garantir vista para o exterior e também sobre dimensões adequadas para se permitir o melhor aproveitamento de iluminação natural. As simulações foram realizadas para as condições climáticas de uma cidade no Reino Unido (Leeds) e sete no Brasil, a saber: Belém, Natal, Salvador, Brasília, Rio de Janeiro, Curitiba e Florianópolis. Concluíram que as áreas de janelas recomendadas na literatura para garantir vista para o exterior são, na maior parte dos casos, inadequadas, pois tendem a ser maiores do que aquelas obtidas nas simulações para garantir desempenho térmico adequado. Também é constatado que ambientes de

pouca profundidade, como o recomendado na literatura para se permitir melhor aproveitamento da iluminação natural, não são os mais adequados para se garantir menor consumo de energia. Este estudo evidencia o conflito entre a necessidade de iluminação natural e vista para o exterior e as dimensões ideais das aberturas para promover conforto térmico dos usuários e baixo gasto energético.

Como destacado por Robbins (1986), a relação geométrica do espaço iluminado é importante variável de análise de desempenho luminoso em um ambiente interno. A IESNA (Illuminating Engineering Society of North America, 2000) indica uma profundidade de sala de 1,5 vezes a altura da verga da janela como determinante da área do ambiente que pode ser considerada iluminada pela luz do dia. Quando há bandeja de luz, este limite pode ser aumentado para 2 vezes a altura da verga da janela.

Cintra (2011), através de estudos realizados com simulações computacionais dinâmicas, objetivou trazer um indicativo de profundidade para garantir um desempenho mínimo de iluminação natural em ambientes sem e com proteção solar. A pesquisa foi realizada para 11 cidades brasileiras em quatro zonas bioclimáticas e quatro orientações solares (norte, sul, leste e oeste). Foi definido o desempenho mínimo de luz natural em ambientes residenciais e identificada a profundidade limite do ambiente para garantir estas condições de desempenho. A autora concluiu que, ambientes com área de abertura de  $\frac{1}{6}$  da área de piso, sem proteção solar e com refletâncias internas de teto 84%, paredes 58% e piso 30%, devem ter uma profundidade limite de 2,57 vezes a altura da janela para garantir uma iluminância de 60 lux com iluminação natural, em 70% das horas do ano com luz natural, em 70% da área do ambiente considerando uma hora antes do nascer do sol e uma hora após. Em ambientes com proteção solar, a profundidade limite do ambiente reduz-se em média 17,9%, passando, portanto, para, no máximo, 2,11 vezes a altura da janela.

Além da profundidade dos ambientes, de acordo com Hopkinson, Longmore e Petherbridge (1975, *apud* BOGO, 2007), a refletância das superfícies internas é a variável que mais influenciará a distribuição da luz natural ao longo do ambiente. Isso

se dá pelo fato de que a reflexão das superfícies permitirá atingir maior ou menor profundidade no espaço e diminuirá o contraste entre a área iluminada diretamente e a área sombreada.

Outro aspecto relevante quanto à distribuição da luz natural em ambientes internos é o contraste entre o plano próximo e o plano de fundo da área de tarefa. Ainda que se considere que contrastes são importantes para um ambiente visualmente estimulante, quando excessivos podem prejudicar a capacidade do olho humano de perceber os objetos e de distinguir detalhes. Isto porque o olho pode se adaptar e funcionar muito bem sob diversas intensidades de iluminação, mas não se níveis extremos se apresentam ao mesmo tempo no campo de visão. Por exemplo, a diferença de brilho entre as paredes que contém as janelas e a vista através delas pode ser desconfortável. (REINHART; MARDALJEVIC; ROGERS; 2006)

Este fenômeno, denominado ofuscamento, se constitui no maior problema da iluminação natural proveniente de janelas laterais, devido ao brilho intenso percebido proveniente das aberturas, diretamente ou por reflexão. O desconforto produzido pelo reflexo da radiação solar, ainda que por pouco tempo, pode levar os usuários a tomar medidas imediatistas que reduzirão a admissão e aproveitamento da luz natural por um longo período do dia. Como solução ao desconforto os dispositivos de proteção solar admitem-se como uma solução lógica ao bloqueio da insolação direta e promoção da luz natural difusa no ambiente.

### 2.3. DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO SOLAR

Segundo a definição da NBR 15215-1 (ABNT, 2005), proteção solar é um

“elemento de controle de superfície contínua opaca que protege o componente de passagem contra os raios diretos do sol, podendo refletir luz natural para o interior”.

Estes elementos podem ser: beirais, marquises, muros, partes do edifício (quando fazem o papel de proteção vertical) e elementos criados como quebra sol (brise). Podem ser externos, internos ou incorporados dentro da própria envoltória da

fachada; fixos ou reguláveis, manuais ou automatizados.

Os dispositivos de proteção solar são utilizados na arquitetura para impedir a incidência direta da radiação solar e admiti-la apenas nos períodos estipulados pelo projetista, evitando dessa maneira o calor excessivo em momentos indesejáveis. (FROTA, 2004). Admitir luz natural pelas aberturas de forma a garantir adequados níveis de iluminação e de distribuição no ambiente, controlando os respectivos ganhos de calor solar, num equilíbrio termo-luminoso, é considerado uma tarefa difícil pelos projetistas (BOGO, 2009). Ao projetar proteções solares deve-se pensar na sua influência sobre a disponibilidade de iluminação natural do ambiente interno e na visibilidade para o exterior, uma vez que a adição de elementos junto à abertura modifica a trajetória e a quantidade da luz natural transmitida para o ambiente interno, além de funcionar como barreira visual. Sendo assim, características geométricas, materiais e refletância dos elementos de controle solar exercem função dominante quanto ao aproveitamento da luz natural nos ambientes internos ocorrendo desde a recepção de iluminação natural insuficiente até a excessiva (FROTA, 2004).

Os dispositivos de proteção podem ser classificados quanto ao movimento (dispositivos de proteção solar móveis ou fixos) ou quanto a sua geometria (dispositivos de proteção solar horizontais, verticais ou mistos - quando associa-se horizontal e vertical). Segundo Bittencourt (2008), os dispositivos de proteção solar devem ser usados em situações como as destacadas na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2 Tipologias de elementos de proteção solar

|                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Dispositivos de proteção solar horizontais | Indicados para alturas solares maiores, em horários em que o sol está mais alto na abóbada celeste, tendo pouca eficiência para as primeiras e últimas horas da do dia. Quando utilizados para proteger raios baixos, estes podem reduzir muito a vista para o exterior e para a abóbada celeste. |
| Dispositivos de proteção solar verticais   | Indicado para bloquear a incidência oblíqua em relação à fachada (norte, sul, sudeste, nordeste, e sudoeste) com eficiência no início da manhã e no final da tarde.                                                                                                                               |
| Dispositivos de proteção solar mistos      | Suas características são complementares às duas anteriores. Indicado para fachadas norte e sul em latitudes baixas.                                                                                                                                                                               |

Fonte: Adaptado de BITTENCOURT, 2008.

Os elementos de proteção solar ainda podem ser definidos como internos e externos.

Internos quando instalados no interior do ambiente e externos quando acoplados à fachada.

Em qualquer situação de clima, céu ou função do edifício, uma boa opção de proteção contra o sol direto é o uso de dispositivos de proteção solar reguláveis, sejam eles horizontais ou verticais, uma vez que são ajustáveis às condições de insolação e, por isso, não demandam grandes dimensionamentos. Da mesma maneira que bloqueiam o sol, sistemas de venezianas reguláveis, por exemplo, são capazes de refletir pelas suas faces superiores a luz para o teto, estendendo o alcance da iluminação até as partes do interior mais distante da janela (VIANNA e GONÇALVES, 2001). Contudo, cabe ressaltar neste caso que o comportamento do usuário é fator determinante no momento da escolha da tipologia de proteção. Como já comprovado nas pesquisas descritas a seguir, os elementos fixos de sombreamento são mais eficazes no sentido de que, se adequadamente projetados, cumprem o papel da proteção sem despertar a ação do usuário. Em um estudo que visa avaliar as métricas de desempenho dinâmico da luz natural em edifícios de escritórios, Reinhart, Mardaljevic e Rogers (2006), concluíram que o usuário, de maneira geral, apresenta um comportamento no qual não costuma ajustar a proteção de acordo com a necessidade e opta por deixar em uma posição fixa, muitas vezes, não eficiente ao desempenho térmico e lumínico do ambiente. Rubin (1978) em uma investigação do comportamento do usuário em 700 escritórios orientadas com fachadas para norte e sul constatou que pessoas conscientemente acionam as venezianas e as mantêm em uma posição tal que necessite menos acionamento do dispositivo.

A presença de sombreamento é uma recomendação observada para todas as Zonas Bioclimáticas de acordo com a NBR 15220-3 – Desempenho Térmico de edificações – Parte3: Zoneamento bioclimático Brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social (ABNT, 2005). No entanto, cabe observar que para as Zonas 1 a 3 é sugerida a insolação visando aquecimento passivo no inverno. O Zoneamento Bioclimático foi proposto para Habitações Unifamiliares de Interesse Social, mas, por ser o único disponível nas normas técnicas brasileiras, tem

sido aplicado com intuito de investigar as variações das características climáticas que ocorrem no país. Os limites geográficos de cada Zona foram estabelecidos a partir de critérios baseados na Carta Bioclimática de Givoni, combinados às Tabelas de Mahoney. Por meio da aplicação destes critérios, foram definidas as estratégias bioclimáticas recomendáveis para cada ponto do mapa e, posteriormente, foram agrupados em uma mesma Zona os pontos correspondentes a estratégias semelhantes. Este procedimento resultou em um número total de oito Zonas Bioclimáticas brasileiras (ABNT, 2005).

#### 2.3.1. Tipologias de proteção características de edificações residenciais

De acordo com o levantamento realizado por Cintra (2011) em seu estudo citado anteriormente, dentre os dispositivos de sombreamento externos às aberturas, uma tipologia recorrente em residências é o beiral, o qual possui a grande vantagem de não ocultar as vistas externas e permitir a incidência solar desejável. Sua utilização é justificada na maioria das vezes em fachadas norte, onde o sol percorre a fachada durante todo o dia. Como tipologia de proteção externa há, também, o autossombreamento do próprio edifício e elementos construídos, como brises, que possam gerar ângulos verticais e horizontais sombreadores.

As venezianas são também elementos externos caracterizados por proteger contra ganhos excessivos de calor e brilho. São responsáveis por garantir a privacidade do ambiente e promover o escurecimento. Esta tipologia é frequentemente utilizada em edificações residenciais, mais especificamente em dormitórios.

Tratando-se de proteções internas, a tipologia mais conhecida são as cortinas dos mais variados tipos. Podem mover-se horizontal ou verticalmente, ou mesmo girar, podendo ser desde persianas graduáveis até painéis deslizantes. Seu desempenho é efetivo em relação ao bloqueio luz, mas não ao calor, já que o material da cortina, por ser interna ao ambiente, absorve a radiação solar e a irradia para o interior. Contudo se apresenta como um dispositivo de fácil instalação, manutenção e funcionamento.

De forma a embasar o desenho dos elementos de proteção solar visados para o estudo neste trabalho, foram identificados tipos de proteção solar predominantes em edificações residenciais e levantados casos de elementos usados em edifícios no Brasil demonstrados nas figuras de 4 a 15.

Figura 4 Edifício Residencial Unifamiliar (Boaçava - São Paulo) com destaque para os dispositivos horizontais de proteção (ângulos vertical de sombreamento)



Fonte: UOL, 2013.

Figura 6 Edifício Residencial Multifamiliar Copan (São Paulo) com destaque para os dispositivos horizontais de proteção (ângulos vertical de sombreamento)



Fonte: OVO, 2013.

Figura 5 Edifício Residencial Multifamiliar Niemeyer (Belo Horizonte) com destaque para os dispositivos horizontais de proteção (ângulos vertical de sombreamento)



Fonte: OVO, 2013.

Figura 7 Edifício Residencial Unifamiliar (Belo Horizonte) com destaque para os dispositivos verticais de proteção (ângulos horizontal de sombreamento)



Fonte: UOL, 2013.

Figura 8 Edifício Residencial Unifamiliar (Rio de Janeiro) com destaque para os dispositivos verticais de proteção (ângulos horizontal de sombreamento)



Fonte: UOL, 2013.

Figura 10 Edifício Residencial Multifamiliar Montreal (São Paulo) com destaque para os dispositivos horizontais de proteção (ângulos vertical de sombreamento)



Fonte:OVO, 2013

Figura 12 Edifício Residencial Multifamiliar (Belo Horizonte/MG) com destaque para os dispositivos verticais de proteção e autossombreamento (ângulos horizontal de sombreamento)



Fonte: Autora

Figura 9 Edifício Residencial Multifamiliar (Belo Horizonte) com destaque para os dispositivos horizontais de proteção (ângulos vertical de sombreamento) e venezianas.



Fonte: Autora

Figura 11 Edifício Residencial Multifamiliar (Belo Horizonte/MG) com destaque para auto sombreamento (ângulos horizontal de sombreamento)



Fonte: Autora



Figura 13 Edifício Residencial Multifamiliar JK (Belo Horizonte/MG) com destaque para os dispositivos verticais de proteção (ângulos horizontais de sombreamento)



Fonte: Autora

Figura 14 Edifício Residencial Multifamiliar (Belo Horizonte/MG) com destaque para os dispositivos de proteção tipo venezianas



Fonte: Autora

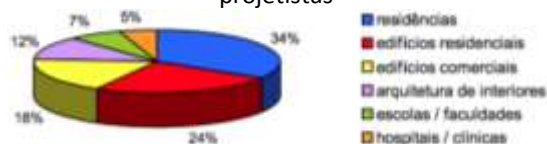
Figura 15 Edifício Residencial Unifamiliar (Belo Horizonte/MG) com destaque para os dispositivos de proteção tipo venezianas



Fonte: Autora

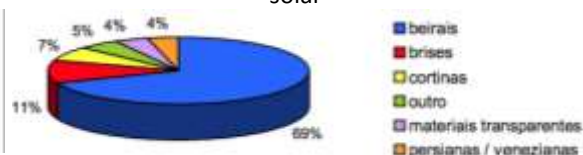
Em uma pesquisa realizada por Weber (2005) entre arquitetos e engenheiros civis, a projetos residenciais se destaca como sendo a mais desenvolvida pelos projetistas, ocupando uma porcentagem de 58% dos trabalhos desenvolvidos. Na mesma pesquisa, beirais, cortinas, brises e venezianas foram destacados como os principais elementos de proteção solar, sendo que os beirais apresentam-se como solução preponderante ocupando 69% dos casos. Ver Figura 16 e Figura 17.

Figura 16 Projetos mais desenvolvido pelos projetistas



Fonte: Adaptado de WEBER, 2005.

Figura 17 Recursos mais utilizados com proteção solar



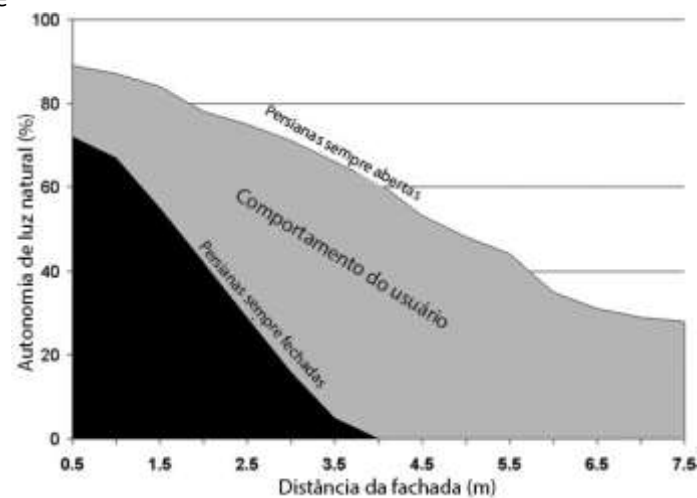
Fonte: Adaptado de WEBER, 2005.

Em nota técnica (Nº 02/2011), “Sombrear ou não Sombrear”, publicada por Sorgato, Versage e Lamberts (2011), demonstrou-se a importância da redução de graus hora de resfriamento com o uso de dispositivos de sombreamento nas janelas em dormitórios de edificações residenciais. Foram realizadas simulações computacionais termoenergéticas com o software *EnergyPlus* versão 6.0. A tipologia arquitetônica escolhida para a avaliação foi uma edificação residencial multifamiliar localizada em duas cidades nas zonas bioclimáticas 3 e 8. Foram avaliados os apartamentos do pavimento intermediário para as quatro orientações (norte, sul, leste e oeste). Os modelos dotam de um percentual de 15% de área de abertura em relação à área útil, sendo que a área destinada à ventilação é metade da área destinada à iluminação. O sombreamento das aberturas foi modelado através de veneziana horizontal, com refletância de 50%. O período de sombreamento para a Zona Bioclimática 3 foi considerado de 21 de setembro a 20 de março (no horário das 8h às 18h), compreendendo a primavera e o verão. Já, para a Zona Bioclimática 8, o período de sombreamento foi considerado o ano inteiro (no horário das 8h às 18h). Como resultado, as simulações demonstraram que os dormitórios sem venezianas para as fachadas norte e sul apresentaram, em média, somatório de Graus-hora de Resfriamento (GHR) 32% maior que os ambientes com dispositivo de sombreamento (veneziana). Os dormitórios sem dispositivo de sombreamento, orientados para oeste e leste, resultaram em diferenças de 82% (oeste) e 47% (leste) no somatório de GHR em relação aos ambientes com venezianas.

Um estudo desenvolvido por Reinhart (2002) em Nova York para diferentes ambientes de escritórios investigou o desempenho do ambiente quanto à disponibilidade de luz natural dentro dos ambientes e da influência do uso de persianas nos mesmos. Foi simulado o comportamento de quatro variações de uso de persianas: sempre abertas,

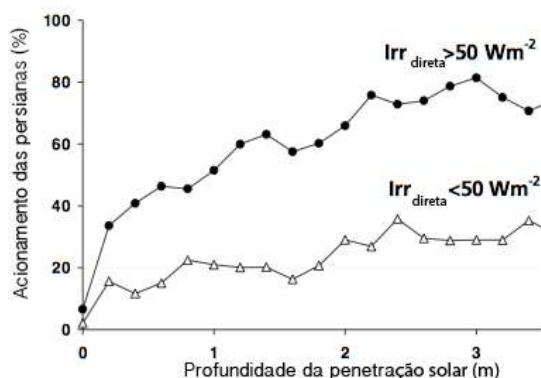
sempre fechadas, com controle manual do sistema e com controle automatizado do sistema. As análises a respeito do acionamento de persianas automatizadas demonstraram que 88% dos acionamentos são relativos a retrações manuais de persianas após a abertura pelo sistema automatizado. Este comportamento é retratado em situações em que há uma penetração profunda do sol no ambiente. No entanto, em geral, o estudo demonstra que os usuários são mais propensos a aceitar a veneziana aberta que fechada. O gráfico da Figura 18 é fonte desta pesquisa e retrata a autonomia de luz natural em relação ao distanciamento da abertura. Observa-se que o comportamento do usuário representa uma significativa contribuição quanto à autonomia de luz natural e representa acionamentos entre as persianas sempre fechadas ou sempre abertas. A partir deste estudo, nota-se a importância da consideração do comportamento do usuário quanto ao acionamento de dispositivos de proteção em análises de desempenho térmico e luminoso de ambientes.

Figura 18 Acionamento de venezianas - Influência do comportamento do usuário na autonomia de luz natural do ambiente



Fonte: adaptado de Reinhart, 2002.

Figura 19 Média de acionamento das persianas de acordo com a penetração da insolação no ambiente. Os pontos indicam os momentos em que a radiação solar está acima de  $50 \text{ Wm}^{-2}$ . E os triângulos quando está abaixo de  $50 \text{ Wm}^{-2}$ .



Fonte: adaptado de Reinhart, 2002.

A Figura 19 demonstra que o acionamento das persianas pelos usuários é influenciado pela penetração do sol no ambiente e pela radiação solar. De acordo com a pesquisa, observa-se que as maiores ocorrências de acionamento dos dispositivos se dão com irradiações solares diretas acima de  $50 \text{ Wm}^{-2}$ .

O autor ressalta também a influência da orientação da fachada no potencial de economia de energia a partir de usos de dispositivos de proteção solar. A fachada norte (menor insolação no hemisfério norte), por exemplo, apresenta o menor potencial de economia de energia.

### 2.3.1. Métodos para dimensionamento de dispositivos de proteção solar

Várias pesquisas já apresentadas neste texto (CINTRA, 2011; SILVA, 2012; GUEDES, 2012) realizaram estudos sobre como os elementos de controle solar influenciam a incidência da luz no ambiente interno. No entanto, não há ainda a definição clara de metodologia para o dimensionamento dos dispositivos de proteção solar para maximizar o desempenho térmico e luminoso dos ambientes em que se inserem. Isto se deve à infinidade de possíveis combinações entre os diversos tipos de elementos de proteção ou controle solar de diversos tipos de abertura, o que torna difícil um estudo conclusivo que aborde essas inúmeras possibilidades de projeto. No entanto, alguns métodos gráficos já foram propostos com o intuito de dimensionar dispositivos de proteção.

Segundo Dutra (1994), o primeiro método gráfico conhecido para projeto de dispositivos de proteção solar foi descrito por Olgyay (1963) e caracteriza-se pelo método mais difundido até hoje. Consiste na construção de máscaras de sombreamento para cada abertura da edificação respondendo às questões preliminares de quando, onde e como proteger da radiação solar. O método se divide em quatro passos: determinação dos períodos de sombra desejados; determinação da posição do sol nestes períodos; determinação do tipo e posição dos dispositivos de sombreamento; projeto e dimensionamento das máscaras. De posse das três vistas (corte, planta e fachada), com seus respectivos dispositivos de sombreamento, traçam-se geometricamente os ângulos limites de sombreamento (alfa  $\alpha$ , beta  $\beta$  e gama  $\gamma$ , respectivamente).



Após isso, os ângulos são transportados por meio de um transferidor formando uma máscara de sombreamento. As máscaras permitem avaliar a obstrução proporcionada pelos dispositivos de proteção solar, sendo importante considerar que, para cada máscara, existe uma grande variação de dispositivos possíveis. A grande limitação deste método foi observada por Dutra (1994) relativo a não qualificação da sombra, e, conseqüentemente, da necessidade de sol em períodos frios.

Figura 21 Semi esfera da abóbada solar imaginária com as trajetórias solares

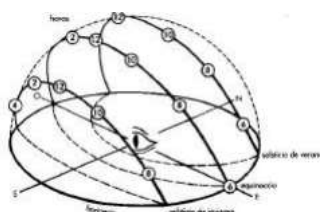
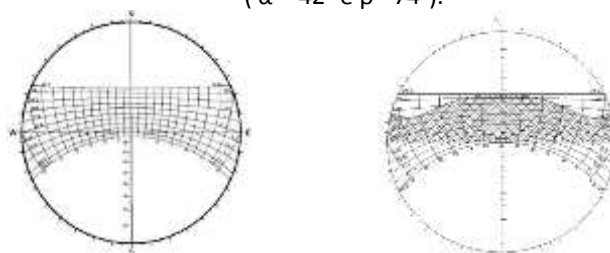


Figura 22 Diagrama para trajetórias solar para 20° S e diagrama com máscara de proteção solar para fachada Norte ( $\alpha = 42^\circ$  e  $\beta = 74^\circ$ ).



Fonte: OLGAY, 1963.

Visando resolver a limitação do método proposto por Olgyay, em relação à qualificação da sombra, o método das radiações ponderadas criada por Aroztegui (1981 *apud* DUTRA, 1994) pondera as radiações recebidas em uma fachada, hora a hora, para um dia típico de cada mês, criando uma unidade denominada radiação ponderada. Esta ponderação foi feita baseada num esquema psico-fisiológico em função da diferença entre a temperatura do ar externa e a temperatura neutra do mês. A temperatura neutra determina a temperatura na qual a população aclimatada se encontra em situação de conforto térmico e é dada pela seguinte equação:

$$T_n = 11,9 + 0,543 \times T_{mm}$$

Equação 1

Onde:

$T_n$  é a temperatura neutra

$T_{mm}$  é a temperatura média mensal.

Os fatores de ponderação são determinados pela diferença entre a temperatura neutra e a temperatura do ar externo. São positivos quando a temperatura externa for inferior à temperatura neutra e negativo no caso inverso. Os fatores de ponderação são dados conforme a Tabela 3.

Tabela 3 Fatores de ponderação segundo Aroztegui (1981)

| Calor      |       | Frio       |      |
|------------|-------|------------|------|
| $\Delta t$ | FP    | $\Delta t$ | FP   |
| +10        | -11,2 | -1         | +0,5 |
| +9         | -9,5  | -2         | +1,0 |
| +8         | -8,0  | -3         | +1,5 |
| +7         | -6,5  | -4         | +2,0 |
| +6         | -5,2  | -5         | +2,5 |
| +5         | -4,0  | -6         | +3,0 |
| +4         | -2,8  | -7         | +3,5 |
| +3         | -1,8  | -8         | +4,0 |
| +2         | -1,0  | -9         | +4,5 |
| +1         | -0,3  | -10        | +5,0 |
|            |       | -11        | +5,5 |
|            |       | -12        | +6,0 |

Fonte: Adaptado de AROZTEGUI, 1981 *apud* DUTRA 1994.

Sendo:

FP- Fatores de Ponderação;

$\Delta t$  diferença de temperatura;

Finalizada esta etapa, os fatores de ponderação são multiplicados pelas radiações diretas obtidas hora a hora para cada orientação e plotados na carta solar em projeção estereográfica. Sendo assim, ao plotar os valores ponderados das radiações diretas e difusas para a carta solar, o método permite uma observação do sombreamento da proteção solar projetada em termos quantitativos para determinado período. O objetivo do método é projetar uma proteção solar que exclua o sol quando a radiação for negativa (temperatura acima da temperatura neutra) e permita sua entrada quando positiva. Dispondo de gráficos com os valores da radiação sombreada para cada orientação de um local determinado, constrói-se o mascaramento da abertura conforme o método de Olgyay (1963). Após isso, somam-se as radiações ponderadas sombreadas pelo mascaramento e subtrai das temperaturas neutras, obtendo assim, um novo balanço com a proteção solar. De acordo com explicitado por Dutra (1994), este método apresenta algumas limitações. A primeira é que o método de cálculo dos fatores de ponderação é difícil de ser compreendido, dificultando sua frequente utilização. A segunda é que apesar de o autor apresentar a importância de se integrar a análise de luz natural e eficiência energética, os critérios desta baseiam-se apenas na recomendação térmica. Além disso, Aroztegui (1981 *apud* DUTRA, 1994) considera que a radiação solar difusa é resultante de céu limpo, padrão pouco real.

Em seu trabalho de dissertação sob título de *“Uma Metodologia para a Determinação do Fator Solar em Aberturas”*, Dutra (1994) calculou a carga térmica proveniente do sol para todos os dias do ano e para as oito orientações (norte, sul, leste, oeste, nordeste, sudeste, sudoeste, noroeste) para a cidade de Florianópolis. A partir disso, estipulou, comparando ao índice de conforto de Givoni, o limite de carga térmica que a fachada poderia receber para se manter a temperatura a um valor limite definido como confortável. Assim, determinou a carga solar “permitida” considerada confortável. A partir desta carga, criou um índice de Fator de Ganho Térmico Solar Desejável ( $F_{ds}$ ). Sendo assim, quando o  $F_{ds}$  é baixo denota em uma exigência maior de sombreamento e controle da radiação solar. O estudo elaborado para o desenvolvimento do método em questão foi realizado em Florianópolis e percebeu-se, por meio do comportamento anual, uma alta variabilidade do  $F_{ds}$ , principalmente nos períodos de verão e outono.

Por fim, o autor discute que o método proposto deve ser aprimorado e testado a partir de simulação computacional.

Ao longo da dissertação de Dutra (1994) algumas conclusões foram aflorando a respeito da eficiência de dispositivos de proteção solar. Segundo o autor, já houve muitas tentativas frustradas de se chegar a um índice de eficiência para brises. No entanto, fica claro que não se deve calcular um índice de eficiência se o brise for visto como um dispositivo isolado. Assim, como o brise participa da solução plástica para uma fachada junto ao mais variado elenco de elementos construtivos, também sua participação no conforto térmico de um ambiente é consequente de sua integração com as demais características da arquitetura e com os elementos do clima. O percentual de sombras desejáveis para uma janela depende de sua orientação, da estrutura térmica dos fechamentos opacos, das características formais e dimensionais e, inclusive, da apropriação espacial do ambiente. Somente após a definição de todas estas especificidades poderá ser determinado o desempenho de uma proteção solar, bastante particular para cada situação. O trabalho citado busca responder ao questionamento de desejabilidade de sombras no verão e de sol no inverno quando propõe fatores solares desejáveis para cada período do ano. Sugere sua implantação junto ao método descrito por Pereira e Sharples (1991) *apud* Dutra(1994), no qual se desenvolve um método experimental para estimar o fator solar de sistema de aberturas. Sugere ainda que os resultados sejam tabulados e estimados os fatores solares para tamanhos diferentes de aberturas e tipos diferentes de elementos sombreadores (persiana, venezianas, brises externos etc.). O autor também considera que é importante prever um estudo de conforto lumínico mais elaborado das características desejáveis para o ambiente. Por fim, ressalta que o sombreamento total da radiação solar incorre na diminuição radical da luz do dia que penetra pela abertura e, ao optar por determinado tipo de proteção solar, deve-se contrabalancear os critérios lumínico e térmico.

No Brasil, dentre os mais recentes métodos para o dimensionamento de proteções solares está o proposto por Pereira e Souza (2008) que utiliza como base a projeção de

temperaturas médias mensais distribuídas ao longo do ano. As autoras analisaram a necessidade de proteção solar através da combinação da temperatura externa e da radiação solar incidente na fachada. Os dados das normais climatológicas foram usados para obter a variação de temperatura média das cidades estudadas definindo, assim, temperaturas médias mensais de 6 às 18 horas ao longo dos meses do ano. A partir da definição de zona de conforto térmico, determinado pelo cálculo da temperatura neutra proposto por Humphreys (1998) e descrito posteriormente por Bittencourt e Cândido *apud* Pereira e Souza (2008), as temperaturas foram determinadas e tabuladas a partir da Equação 2:

$$T_n = 0,31T_e + 17,6^{\circ}\text{C}$$

Equação 2

Sendo :

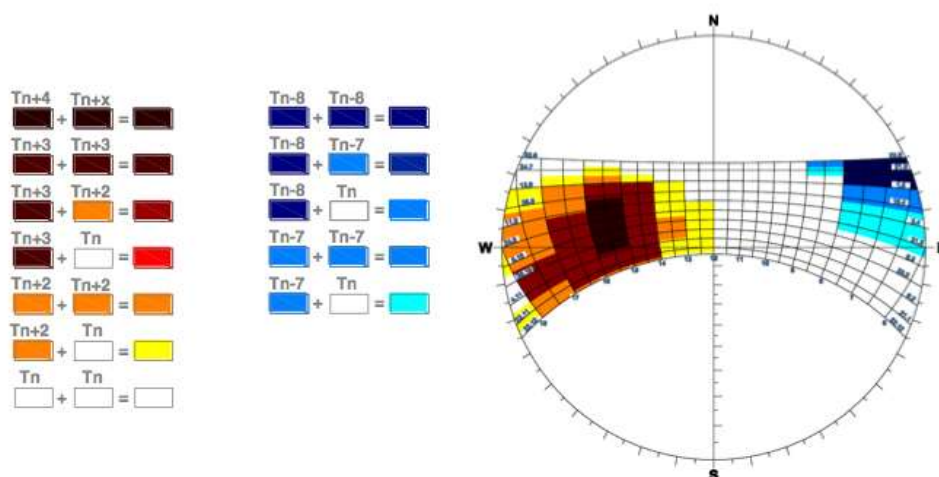
$T_n$  a temperatura neutra

$T_e$  a temperatura do ar média mensal, em  $^{\circ}\text{C}$ , extraída das Normais Climatológicas (BRASIL, 1992).

Baseando-se nessas temperaturas neutras, Pereira e Souza (2008) determinaram faixas de temperaturas acima e abaixo de temperatura neutra a partir das quais a insolação deve ser controlada ou favorecida. Nas temperaturas acima da temperatura neutra, o número de graus é adicionado a  $T_n$  ( $T_{n+2}$ ,  $T_{n+3}$ ...) e nas temperaturas abaixo são reduzidos ( $T_{n-7}$ ,  $T_{n-8}$ ...).

Definida as temperaturas, estas foram tabuladas em função do acréscimo ou decréscimo em fases em relação à temperatura neutra encontrada. Foi feito, para cada cidade de estudo, a plotagem para cada carta solar das fases de temperaturas (Figura 23) (BRASIL, 2012).

Figura 23 Escala de cores para preenchimento da carta solar e exemplo de preenchimento para a cidade de Belo Horizonte (ZB3)



Fonte: BRASIL, 2012.

A cada fachada definida pela carta solar, deve ser sobreposto o gráfico de radiação solar incidente. Para a definição do dimensionamento mínimo dos componentes de sombreamento, deve ser feita proteção solar quando haja incidência solar em horários em que as temperaturas sejam superiores a  $T_{n+3}$ , tanto para aberturas pequenas (aberturas com área menor que 25% da área do piso) quanto para aberturas grandes (aberturas com área maior que 25% da área do piso). Devem ser protegidas as aberturas pequenas quando estas temperaturas superiores a  $T_{n+3}$  coincidirem com a radiação de 600 W e nas aberturas grandes, tanto na região em que houver insolação superior a 600 W, quanto na região em que a temperatura externa for superior a  $T_{n+3}$ . Temperaturas maiores que as da faixa de proteção devem sempre ser protegidas ( $T_{n+4}$ ,  $T_{n+5}$ ,...). Não deve haver sombreamento da insolação em aberturas para temperaturas inferiores a  $T_{n-8}$  nas Zonas Bioclimáticas de 3 a 8. Nas Zonas Bioclimáticas 1 e 2, não deve haver proteção para valores inferiores a  $T_{n-7}$ . Além disso, as proteções solares não são necessárias quando a necessidade de sombreamento se der por menos de dois meses do ano e/ou duas horas do dia e após às 17h00. Este método é atualmente utilizado pelo anexo 1 do RTQ-R para a definição dos ângulos de pontuação da variável *Somb* descrita no item 2.5.1. No Regulamento, os ângulos de proteção desejadas já são disponibilizados para todas as cidades. (BRASIL, 2012).

### 2.3.2. Dispositivos de proteção solar e consumo de energia

Em relação à redução do consumo de energia, um estudo realizado por Didoné e Bittencourt (2008) sobre o impacto causado pela ausência e pelo uso de dispositivos de proteção solar no consumo de energia elétrica em edificações hoteleiras adotou modelos arquitetônicos com grandes áreas envidraçadas e pouco adequados para o clima investigado. Foi possível observar, uma vez inseridos dispositivos de proteção solar, ao impedirem a passagem da radiação solar direta, possibilitam uma diminuição dos ganhos térmicos no interior do ambiente, reduzindo o consumo de energia decorrente do uso do sistema de ar-condicionado, com variações entre 2% e 6%. As alterações na configuração arquitetônica promoveram um eficiente desempenho lumínico no interior dos quartos (DIDONÉ; BITTENCOURT, 2008).

Na pesquisa anteriormente citada de Cintra (2011), foram criados três modelos que caracterizam as principais formas de dispositivos de proteção solar em edificações residenciais. A Figura 24 apresenta os modelos utilizados.



Fonte: Adaptado de CINTRA, 2011.

De maneira geral o estudo demonstrou que as proteções do tipo beirais e varandas são as que mais influenciam nos resultados de iluminação natural no ambiente interno, tendo em vista que os modelos 1 e 3 foram os que apresentaram a maior redução da profundidade da penetração da luz natural no ambiente. A autora afirmou que somente na orientação norte pôde-se observar melhoria na propagação de luz natural com o uso dos tipos de elementos de proteção solar estudados.

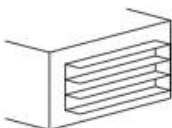
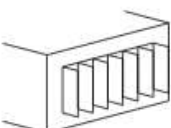
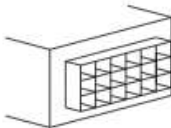
A pesquisa concluiu ainda que para latitudes menores o elemento de proteção

horizontal pouco influenciou na distribuição da luz natural, com excessão da fachada oeste, que obteve menor autonomia de luz natural em todas as cidades avaliadas. Para elementos de proteção verticais percebe-se que não houve alterações significativas para as cidades avaliadas, o que permitiu à autora concluir que o uso de proteção vertical apresenta maior eficiência quanto à disponibilidade de luz no ambiente se comparada à horizontal.

Ainda, como consideração final da pesquisa, Cintra (2011) sugeriu como trabalhos futuros o estudo da influência do comportamento da luz natural para outras Zonas Bioclimáticas, a indicação de diretrizes de projeto para o uso dos dispositivos de proteção solar e a análise da influência do consumo de energia decorrente da perda da autonomia de iluminação natural, através do uso dos dispositivos de proteção.

No estudo realizado por Santana (2006) é avaliada a situação de edifícios de escritório localizados no município de Florianópolis – SC e também a influência de parâmetros construtivos no consumo de energia através de simulações computacionais utilizando o programa *EnergyPlus*. Para as simulações das variações dos elementos de proteção solar foram simulados três casos com brises (ângulos de 45°). Os brises utilizados na simulação são iguais para todas as fachadas e dispostos em todas as aberturas, com placas de 50 cm distanciadas verticalmente a cada 50 cm. A figura a seguir apresenta os croquis dos casos simulados. Para os brises horizontais ainda foram simulados mais dois casos variando os ângulos verticais de sombreamento com ângulos verticais de 25° e 65°.

Figura 25 Tipologias de brises adotados: Caso 1, 2 e 3

| Caso 1                                                                              | Caso 2                                                                              | Caso 3                                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |
| Brise horizontal (AVS45°)<br>Ângulo vertical de sombreamento 45°                    | Brise vertical (AHS45°)<br>Ângulo horizontal de sombreamento 45°                    | Brise horizontal e vertical<br>Ângulo vertical e horizontal de sombreamento 45°      |

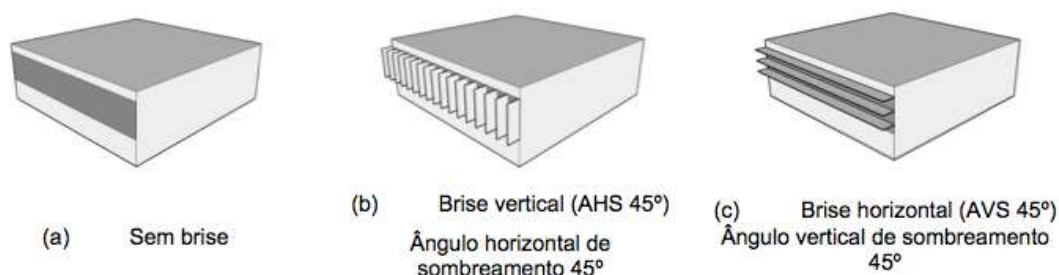
Fonte: SANTANA, 2006.

O parâmetro relacionado ao fator de proteção dos casos simulados por Santana

(2006), onde foram analisados diferentes tipos de brise, obteve uma variação máxima no consumo de energia, em relação ao caso base, de aproximadamente 12%. No entanto, ao se analisar os brises horizontais, a cada aumento do ângulo vertical de sombreamento (AVS), o consumo de energia aumenta em 1,8% para a cidade de Florianópolis. Este resultado se mostra, a princípio, contraditório, uma vez que se tem como expectativa inicial que proteções solares minimizem o consumo da edificação por resfriamento. Este resultado reforça a necessidade de um projeto adequado de proteção com estudo da trajetória solar e características climáticas locais. Dessa forma, dentre as observações da autora, destaca-se a de que para um melhor desempenho dos brises, estes devem ser projetados de acordo com a orientação solar a fim de que se alcancem geometrias mais adequadas à insolação na abertura.

O trabalho desenvolvido por Didoné (2009) teve como objetivo avaliar a eficiência energética de edificações não residenciais considerando o aproveitamento da luz natural. A metodologia foi baseada na avaliação e comparação do desempenho luminoso e energético de modelos com diferentes variáveis, através da simulação computacional integrada com o uso dos softwares Daysim e EnergyPlus. Os resultados mostraram que, com os valores de autonomia de luz natural, é possível identificar a porcentagem da área que apresenta determinada autonomia da luz natural e o consumo com iluminação artificial necessário para complementar a iluminância estipulada para o período de ocupação. Para a análise das variações dos elementos de proteção solar, foram simulados três casos: um sem elementos de proteção solar e dois providos de elementos de proteção solar. Nos dois casos, a proteção solar vertical ou horizontal é formada por placas de refletância de 50%, com 50 cm x (tamanho da janela), intercaladas a cada 50 cm, formando um ângulo de sombreamento de 45° (ver Figura 26 a seguir).

Figura 26 Tipologias de modelos adotados: Caso a, b e c.



Fonte: DIDONÉ, 2009.

Em suas conclusões, Didoné (2009) observou que utilizar o mesmo ângulo de sombreamento para todas as orientações não foi uma boa alternativa para avaliar o aproveitamento de luz natural, necessitando-se um estudo aprofundado em relação ao controle de ganho de calor e luz com o uso de proteções solares adequadamente dimensionados para cada orientação.

A partir dos trabalhos apresentados, é notório o interesse e necessidade de avanço dos estudos que conjuguem a iluminação natural, proteção solar e desempenho energético em edificações. Verificou-se que as proteções solares são dispositivos importantes na redução do consumo de energia em edificações. No entanto, autores como Didoné (2009) e Santana (2006) identificaram que os potenciais de economia de energia podem ser diferentes e recomendam que estudos futuros levem em consideração a orientação da fachada quanto ao dimensionamento das proteções solares.

#### 2.4. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NA ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO E LUMINOSO DE AMBIENTES INTERNOS

O uso da simulação computacional permite a avaliação de desempenho térmico e da luz natural em um ambiente quando há necessidade de análises que envolvam grande quantidade de dados de saída. Os *softwares* de simulação de ambientes construídos permitem a criação de modelos tridimensionais complexos e a exibição dos resultados de forma quantitativa.

De acordo com Reinhart (2010), para uma análise rigorosa de resultados de simulações

computacionais de um determinado projeto, são necessários três passos: a) estimar a quantidade física de luz e calor disponível no edifício b) converter os resultados em medidas de desempenho; c) interpretar as medidas de desempenho e tomar uma decisão de projeto.

O autor afirma que, os passos (a) e (b) podem ser definidos pelo uso de um programa de simulação. Ele permite prever quantitativamente valores relativos a desempenho do edifício, em condições de céu selecionadas ou durante o decorrer de um determinado período. As simulações computacionais calculam as quantidades físicas de luz e trocas térmicas e os resultados são apresentados como números, gráficos ou mapeamento de cores.

Segundo Reinhart, Mardaljevic e Rogers (2006), como a luz do dia e as características climáticas são extremamente variáveis, é necessário se aprofundar no conceito das medidas dinâmicas para avaliação térmica e do comportamento da luz natural no interior dos ambientes. Com essas medidas é possível descrever em detalhe o comportamento de um edifício frente as condições climáticas. Esta situação é uma tendência verificada na maioria dos programas de simulação de comportamento termoenergético de edificações, e se diferenciam por poderem prever o desempenho de uma edificação ou de um ambiente no curso de um ano inteiro. Programas de simulação estática apenas simulam o fenômeno sob uma condição temporal predeterminada.

#### 2.4.1. Medidas de Iluminação Natural

Segundo Reinhart (2010), inicialmente, para se qualificar uma área iluminada deve-se estabelecer critérios para um desempenho adequado ou suficiente (Critério 1). Da mesma forma, esses critérios devem ser objetivos e quantificáveis (Critério 2), bem como bem distribuídos (Critério 3) pelo espaço analisado. Sendo assim, o autor conceituou o critério adequado e suficiente (1) no que diz respeito ao nível mínimo de iluminação dentro do ambiente nas diversas épocas do ano. Os critérios objetivos e quantificados (2), em respeito à satisfação do usuário no espaço com atenção ao

controle de luz direta e ofuscamento. Como boa distribuição no espaço (3), o autor faz referência a níveis uniformes de iluminação no espaço.

Atendendo ao critério de adequado e suficiente (1), o conceito de Autonomia de Luz Natural (*Daylight Autonomy* – DA) torna-se um indicador ideal para quantificar a porcentagem de tempo que os níveis de iluminância requeridos podem ser mantidos através da luz natural. Utiliza a iluminação no plano de trabalho como um indicador da existência de luz natural suficiente em um espaço para que um ocupante possa trabalhar apenas com a mesma. Em 2001, Reinhart e Walkenhorst redefiniram autonomia de luz natural em um ponto como o percentual das horas de ocupação ao longo do ano, em que a exigência mínima de iluminação é cumprida apenas por iluminação natural (REINHART; WALKENHORST, 2001).

Como esse índice não permite a identificação das situações onde os níveis de iluminação são excessivamente elevados, podendo provocar efeitos adversos associados ao conforto visual e na carga térmica, foi proposto por Nabil e Mardaljevic (2005) a métrica de Iluminância Natural Útil (UDI). A UDI se baseia nas iluminâncias no plano de trabalho e atende ao requisito de verificar a relação de satisfação do usuário (2).

Como o próprio nome sugere, a UDI visa determinar quando os níveis de luz são “úteis” para os ocupantes, ou seja, não está nem muito escuro (inferior a 100 lux), nem muito claro (superior a 2000 lux). O limite superior é utilizado para detectar ocasiões em que um excesso de luz pode levar a desconforto térmico e/ou visual. O intervalo sugerido baseia-se nas preferências relatadas dos ocupantes em escritórios. Com base nos limiares superior e inferior de 2000 lux e 100 lux, os resultados UDI em três métricas, ou seja, as porcentagens do tempo ocupado do ano quando: o UDI foi alcançado (100 – 2000 lux), ficou abaixo do estipulado (<100 lux), ou foi ultrapassado (> 2000 lux) (REINHART; MARDALJEVIC; ROGERS, 2006).

Ainda, foram desenvolvidas outras métricas para auxiliar a avaliação da iluminação no espaço interno. Entre elas, a Autonomia de Luz Natural Contínua (DA<sub>con</sub>), que é um

conjunto de métricas com base nas definições de DA e que avalia quando a iluminação natural fica abaixo do nível da iluminância de projeto; e a Autonomia de Luz do Dia Máxima (DAMAX) que indica a porcentagem de horas no ano nas quais a luz solar está extremamente elevada, podendo ocorrer nos ambientes com problemas como reflexos indesejáveis .

Como medida recomendada pela CIE (*Commission Internationale de l'Eclairage*) para análises de iluminação natural o *Daylight Factor* (DF) corresponde à razão da iluminância exterior pela interior, sob condição de céu encoberto, medido em um plano horizontal em forma de porcentagem. É descrito pela NBR 15215-2 (ABNT, 2005) como:

“(...) o fator luz diurna (DF) é uma constante para todos os pontos de um ambiente, independente da iluminância horizontal externa produzida por céus com uma distribuição de iluminâncias uniformemente constante com relação ao azimute (céus uniformes e encobertos).” (ABNT, 2005)

Esta medida, diferentemente das demais apresentadas, é dada sob a limitação das condições de céu encoberto, e, sendo assim, permite uma análise estática para este tipo de céu.

#### 2.4.2. *Daysim 3.0*

O *Daysim 3.0* é um programa de análise dinâmica da iluminação natural desenvolvido pelo *National Research Council Canada* (NRCC), que utiliza o algoritmo do RADIANCE para calcular as iluminâncias internas de um ambiente no período de um ano (REINHART, 2006). O programa trabalha com dados anuais através de arquivos climáticos que contém uma série horária de dados de radiação solar convertendo as séries horárias em séries sub-horárias. Segundo Reinhart (2010), o programa simula o perfil anual de iluminação natural através do módulo *Daylight Coefficients* que utiliza o método do raio traçado (*ray-tracing*) e o modelo de céu de Perez *et al.* (1990). Segundo Souza (2004), o modelo de Perez *et al.* (1990) propõe a utilização de dois importantes índices na avaliação das condições de céu, o índice de claridade e o índice de brilho, que, juntamente com a altura solar, são componentes que permitem

parametrizar condições de céu, do encoberto ao claro.

A simulação é realizada a partir de um modelo tridimensional do ambiente. O modelo é importado de programas como o Ecotect e o *SketchUp*. No *Daysim* são definidas as propriedades ópticas das superfícies e, do arquivo climático são retirados dados como latitude, longitude e radiação solar(REINHART,2010).

O *Daysim* exige algumas configurações para cada simulação a respeito da complexidade da cena simulada. No tutorial do programa (REINHART, 2010) são sugeridos os dados de entrada que devem ser inseridos de acordo com as características da complexidade das aberturas do modelo: com aberturas sem elementos de proteção solar (ver Tabela 4) e com aberturas com elementos de proteção solar (ver Tabela 5).

Tabela 4 Complexidade da cena para modelos sem elementos de proteção solar

| <i>Ambient Bounces</i> | <i>Ambient Division</i> | <i>Ambient Sampling</i> | <i>Ambiente Accuracy</i> | <i>Ambient Resolution</i> | <i>Direct threshold</i> | <i>Direct sampling</i> |
|------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------|
| 5                      | 1000                    | 20                      | 0,1                      | 300                       | 0                       | 0                      |

Fonte: adaptado de REINHART, 2010.

Tabela 5 Complexidade da cena para modelos com elementos de proteção solar

| <i>Ambient Bounces</i> | <i>Ambient Division</i> | <i>Ambient Sampling</i> | <i>Ambiente Accuracy</i> | <i>Ambient Resolution</i> | <i>Direct threshold</i> | <i>Direct sampling</i> |
|------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------|
| 7                      | 1500                    | 100                     | 0,1                      | 300                       | 0                       | 0                      |

Fonte: adaptado de REINHART, 2010.

As alterações relativas às duas cenas de complexidade são devidas aos parâmetros de *ambiente bounces*, *ambiente division* e *ambiente sampling*. O parâmetro *ambiente bounces* descreve o número de reflexões internas que serão calculadas antes de um raio ser descartado no cálculo. Para ambientes sem proteção solar utiliza-se o valor cinco e para ambientes com proteção o valor sete, valores padrões e suficientes segundo Reinhart (2010). O parâmetro *ambiente division*, determina o número de raios que serão enviados a partir de um ponto da superfície durante a simulação. Este parâmetro é mais alto quando a distribuição da iluminância tem grandes variações, como é o caso de aberturas com proteção solar. O parâmetro *ambiente sampling* é relacionado ao número de raios extras enviados para as áreas com grande variação de radiação.

Como saída do programa, além do cálculo das iluminâncias, é possível a determinação de todas as medidas dinâmicas (DA,UDI,DAMax,DAcon) citadas no item 2.4.1 para cada ponto de referência adotado. (REINHART,2010)

O *Daysim* 3.0 integra ao seu corpo um algoritmo comportamental chamado *Lightswitch*, elaborado a partir de pesquisas de campo (REINHART; VOSS, 2003), que busca prever as ações dos sistemas de controle de iluminação e de proteção solar do tipo persiana. Estes estudos levantaram a existência de dois tipos básicos de usuários: aqueles que acionam a iluminação ao entrarem no ambiente e deixam acionadas mesmo quando deixam o ambiente por um curto período de tempo e aqueles usuários que acionam a iluminação artificial apenas quando há baixos níveis de iluminância. Além disso, o *lightswitch* baseia-se em dois cenários quanto ao tipo de acionamento dos sistemas: o controle manual *on/off* e o controle automatizado. Estes cenários são divididos em seis outros tipos. São eles: *Manual on/off near the door*, *Switch off occupancy sensor*, *Switch On/Off occupancy sensor*, *Photosensor controlled dimming system*, *Combination switch off occupancy and dimming sensor* e *Combination on/off occupancy and dimming system*.

Dentre conclusões dos estudos base para a elaboração do *lightswitch*, Reinhart e Voss (2003) constataram que usuários utilizam a mesma estratégia de comportamento em relação ao acionamento da iluminação artificial e das persianas. Para o acionamento das persianas, os usuários também são definidos como ativo e passivo. O usuário passivo permanece com as persianas abaixadas durante todo o ano. Já o usuário ativo aciona as persianas quando há luz solar direta acima de 50 lux ( $\sim 450\text{W}/\text{m}^2$ ) e os ganhos solares de entrada acima de  $50\text{W}/\text{m}^2$ , ou quando os níveis de ofuscamento no plano de trabalho apresentam DGP (*Daylight Glare Probability Metric*) maior que 40%, de acordo com os parâmetros definidos por Wienold e Christoffersen (2006). Este índice foi definido a partir de experimento realizado com base em setenta e dois testes, em dois ambientes idênticos e estabelece níveis de desconforto de acordo com os seguintes parâmetros:

- DGP < 35% imperceptível;

- 35% < DGP > 40%, perceptível;
- 40% < DGP > 45% incômodo;
- DGP > 45% intolerável.

O algoritmo *lightswitch* permite a simulação sub-horária do uso da iluminação e da persiana, o que possibilita exportar um relatório de utilização dos sistemas em todas as horas do ano (BOURGEOIS; REINHART; MACDONALD, 2006). A partir dos relatórios dos sistemas de acionamento, o *Daysim* 3.0 gera automaticamente *schedules* (Rotinas) horárias anuais de ocupação, cargas elétricas de iluminação e de acionamento da persiana/veneziana.

#### 2.4.3. Simulação computacional termoenergética

Algumas ferramentas são capazes de fazer uma análise combinada entre os sistemas de uma edificação. O *EnergyPlus*, por exemplo, realiza simulações termoenergéticas e fornece resultados horários, permitindo uma avaliação mais detalhada do desempenho da edificação.

O programa computacional *EnergyPlus* foi criado a partir da junção de características de dois programas, BLAST e DOE-2. É um programa que trabalha com o balanço de calor do BLAST, programas de iluminação natural e algoritmos de transferência de calor e fluxo de ar entre zonas. Estima o consumo de energia considerando as trocas térmicas da edificação com o exterior com base na caracterização da edificação e leva em consideração a geometria, componentes construtivos, cargas instaladas, sistemas de condicionamento de ar e padrões de uso e ocupação (CRAWLEY et al., 1999).

No entanto, em relação ao algoritmo do sistema de iluminação natural, o *EnergyPlus* possui algumas limitações (RAMOS, 2008). Esta afirmação foi comprovada pela autora, em que seu principal resultado foi a influência do programa no cálculo da iluminação natural, tanto no cálculo da parcela de luz refletida no ambiente como no cálculo das iluminâncias externas, que resultaram maiores do que as reais. Ou seja, o *EnergyPlus* superestima a quantidade de luz natural no interior do ambiente e, conseqüentemente, subestima o consumo de energia elétrica usado na iluminação

artificial.

Ramos (2008) avaliou o cálculo da iluminação natural através da comparação das iluminâncias internas calculadas com as simulações realizadas pelos programas *EnergyPlus*, *Daysim/Radiance* e *Troplux*. A principal conclusão desse estudo foi a verificação dos valores superestimados do *EnergyPlus* quanto a sua influência no cálculo da iluminação natural.

#### 2.4.4. Simulação energética integrada

Com o intuito de verificar a distribuição anual da iluminação natural no ambiente e o potencial de redução do consumo energético proveniente do uso da luz natural, e diante das limitações do *EnergyPlus*, Didoné (2009) destaca o método de integração de dois programas de simulação: o *Daysim* 3.0, para a análise anual de iluminação, e o *EnergyPlus*, para a verificação do desempenho energético da edificação.

O *Daysim* 3.0, utilizando os mesmos arquivos climáticos que o *EnergyPlus*, calcula o perfil anual de iluminâncias internas e gera automaticamente *schedules* horários anuais de ocupação, de cargas elétricas de iluminação e de status do dispositivo de sombreamento (arquivo \*.csv do diretório res). Essas *schedules* são lidas como dado de entrada no *EnergyPlus*. (DIDONÉ, 2009)

Pesquisas sobre essa integração entre a versão do *Daysim* 2.0 e o *EnergyPlus* já foram realizadas e comprovada a boa aplicabilidade dos resultados nas pesquisas. DIDONÉ (2009) investigou a influência da luz natural na avaliação da eficiência energética de edifícios de escritórios em Florianópolis e utilizou os dois *softwares* de forma integrada, a fim de obter resultados mais precisos e complementares. Didoné e Pereira (2010) explicitaram a eficácia desta metodologia em um estudo direcionado à orientação quanto ao uso de simulação computacional integrada para estudos da luz natural e sua influência quanto ao desempenho energético de edificações. Versage, Melo e Lamberts (2010) também utilizaram os dois programas para avaliar o seu desempenho quanto a distribuição da iluminação natural e contribuição para a economia de energia.

## 2.5. REGULAMENTO BRASILEIRO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS

Como importante medida governamental brasileira em busca da eficiência energética em edificações residenciais foi lançado o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) (BRASIL, 2012). O RTQ-R especifica requisitos técnicos e os métodos para classificação do nível de eficiência energética de edificações residenciais unifamiliares e multifamiliares, estruturados nos seguintes itens:

- Unidades Habitacionais Autônomas (UH);
- Edificações Unifamiliares;
- Edificações Multifamiliares;
- Áreas de Uso Comum de Edificações Multifamiliares ou de Condomínios de Edificações Residenciais.

A avaliação da eficiência energética deve ser realizada tanto na etapa de projeto quanto na etapa da edificação construída. A avaliação das UH's e das edificações unifamiliares divide-se em dois sistemas individuais: a envoltória e o sistema de aquecimento de água. Cada um destes sistemas é avaliado por meio de critérios estabelecidos no RTQ-R e da sua adequação a pré-requisitos específicos. Os dois sistemas têm níveis de eficiência que variam de A (mais eficiente) a E (menos eficiente). A classificação do nível de eficiência da envoltória compreende requisitos de área das aberturas para iluminação e ventilação, das condições de sombreamento, orientação das fachadas e propriedades térmicas das paredes e coberturas. O método de classificação é baseado no índice de graus-hora de resfriamento (GHR) para o desempenho de verão e consumo relativo de aquecimento (CA) para o desempenho de inverno. Após a definição destes índices pelas equações, estes são ponderados para se encontrar um índice de equivalente numérico responsável pela pontuação final da envoltória. Nas Zonas Bioclimáticas 1 a 4 o desempenho da envoltória é avaliado para inverno e para verão. Já nas Zonas Bioclimáticas de 5 a 8 o desempenho da envoltória só é avaliado para verão. (BRASIL, 2010)

Além dos requisitos, o RTQ-R apresenta parâmetros para bonificações que podem ser obtidas com estratégias de ventilação e iluminação natural, uso racional de água, utilização de lâmpadas, refrigeradores, condicionadores de ar e ventiladores de teto eficientes, além da medição individualizada de água quente. Para a classificação final da UH, uma equação pondera os sistemas (envoltória e aquecimento de água) com pesos específicos e permite somar bonificações à pontuação final. (BRASIL, 2012)

A avaliação das edificações multifamiliares resulta da ponderação da classificação de todas as UH's pela sua área útil, determinando a pontuação e classificação final da edificação. Para obtenção dos níveis de eficiência A ou B, o pré-requisito de medição individualizada (em cada UH) de eletricidade e água deve ser atendido.

A avaliação das áreas de uso comum de edificações multifamiliares ou de condomínios de edificações residenciais é dividida em áreas comuns de uso frequente e áreas comuns de uso eventual. Para composição da classificação final das áreas de uso comum são avaliados os seguintes sistemas individuais, quando aplicáveis ao empreendimento sob avaliação: iluminação artificial, bombas centrífugas, elevadores, equipamentos e eletrodomésticos, sistema de aquecimento de água de chuveiros e piscinas e saunas. Da mesma forma que na avaliação da UH, uma equação pondera os resultados das áreas comuns de uso frequente e eventual e permite somar bonificações à pontuação final, dentre as quais está a avaliação da Iluminação natural .

#### 2.5.1. Metodologia do cálculo do *Somb* no RTQ-R

Tratando-se dos objetivos deste trabalho, que visa auxiliar o aprimoramento do RTQ-R, procurou-se investigar a metodologia de determinação da variável *Somb* utilizada para avaliar a contribuição dos sistemas de sombreamento das aberturas na avaliação da envoltória da edificação.

Esta variável compõe as equações dos índices de graus-hora de resfriamento (GHR) e consumo relativo a aquecimento (CA). Segundo os requisitos, *Somb* é a variável que define a presença de dispositivos de proteção solar externo às aberturas e é caracterizada como a seguir:

- $somb = 0$  (zero), quando não houver dispositivos de proteção solar;
- $somb = 1$  (um), quando houver venezianas que cubram 100% da abertura quando fechada;
- $0 < somb \leq 0,5$  (de zero a zero vírgula cinco), para ambientes com sombreamento por varanda, beiral ou brise horizontal. O percentual de sombreamento deve ser calculado de acordo com o método proposto no Anexo I que define os ângulos para a determinação de dimensões mínimas do sistema de proteção solar externos em aberturas de ambientes de permanência prolongada. É dimensionado com o uso do método descrito no item 2.3.2 deste trabalho e define a conjunção de critérios de temperatura externa e radiação solar incidente na fachada plotados em cartas solares para a latitude da cidade onde se localiza o projeto em estudo. Para facilitar a aplicação do método, são disponibilizadas tabelas de ângulos mínimos de proteção de acordo com a orientação e porcentagem de área de janela. É calculada a relação dos ângulos mínimos aos ângulos de projeto e definida a porcentagem relativa à variável  $Somb$  de acordo com a seguinte equação:

$$somb_{abertura} = \frac{(\alpha p + \gamma ep + \gamma dp + \beta ep + \beta dp)}{(\alpha r + \gamma er + \gamma dr + \beta er + \beta dr)} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

$\alpha r$ : ângulo de proteção horizontal recomendado;  
 $\gamma er$ : ângulo de extensão lateral esquerdo da proteção recomendado;  
 $\gamma dr$ : ângulo de extensão lateral direito da proteção recomendado;  
 $\beta er$ : ângulo de proteção vertical esquerdo recomendado;  
 $\beta dr$ : ângulo de proteção vertical direito recomendado;  
 $\alpha p$ : ângulo de proteção horizontal projetado;  
 $\gamma ep$ : ângulo de extensão lateral esquerdo da proteção projetado;  
 $\gamma dp$ : ângulo de extensão lateral direito da proteção projetado;  
 $\beta ep$ : ângulo de proteção vertical esquerdo projetado;  
 $\beta dp$ : ângulo de proteção vertical direito projetado;

- $somb = 0,2$  (zero vírgula dois) para ambientes com sombreamento por varanda, beiral ou brise horizontal, desde que os ângulos de sombreamento  $\alpha$  e  $\gamma$  atendam aos limites de ângulo mínimos para norte, sul, leste e oeste estabelecidos pelas seguintes equações:

$$\text{Limite para } \alpha \text{ ou } \gamma \text{ norte} = 23,5^\circ - \text{Lat}$$

$$\text{Equação 4}$$

Limite para  $\alpha$  ou  $\gamma$  sul =  $23,5^\circ$  - Lat

Equação 5

Limite para  $\alpha$  ou  $\gamma$  leste e oeste =  $45^\circ$

Equação 6

Sendo:

Lat - valor absoluto da latitude do local (valores negativos para o hemisfério Sul);

$\alpha$  - ângulo de altitude solar a normal da fachada que limita a proteção solar;

$\gamma$  - ângulo da altura solar perpendicular a normal da fachada que limita as laterais da proteção solar.

Observação: No caso de dormitórios, o dispositivo de sombreamento deve permitir escurecimento em todas as Zonas Bioclimáticas e ventilação nas Zonas Bioclimáticas 2 a 8 para que “*Somb*” seja igual a 1 (um).

Entretanto, como demonstrado, o RTQ-R admite uma nota “*Somb*” de até 0,5 para uso de brises ou demais proteções, não permitindo alcançar a nota máxima de “*Somb*” = 1. Em estudos realizados pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina – LABEEE/UFSC (documento interno da Secretaria Técnica. LABEEE, 2011) e por Santos (2009), foi comprovado que os ângulos mínimos propostos por este método contribuem para obstruir apenas parte da radiação solar além de, em algumas situações, não exigir obstrução mínima. Segundo os autores, não poderia ser igualmente valorizado quando comparado a um sistema que obstrui a radiação solar durante um maior período num processo de avaliação de eficiência energética. Como, por exemplo, a veneziana que, quando acionada, obstrui a radiação solar durante todo o período de insolação e minimizam os ganhos de calor por esta fonte.

#### 2.5.2. Características adotadas para base de simulações na elaboração do RTQ-R

Foi lançado, com o apoio do Convênio ECV-271/2008 Eletrobrás/UFSC, um relatório técnico elaborado por LABEEE (2011b), que descreve o desenvolvimento do método para avaliação da eficiência energética de edificações residenciais que resultou na publicação do RTQ-R. São apresentadas as decisões que levaram às propostas de texto em todos os itens relevantes, com exceção do desenvolvimento das equações, que são apresentadas em relatórios específicos, RT\_LABEEE-2011/02 e RT\_LABEEE- 2011/03. (CB3E, 2013).

O relatório em questão apresenta com detalhes o *software* utilizado, os arquivos

climáticos; os modelos simulados; os padrões de ocupação, a iluminação, os equipamentos, a ventilação e os sistemas de HVAC; a tipologia de sombreamento adotado; e os parâmetros das tipologias em que foram variadas as áreas dos ambientes, as relações de pé direito, a área de janela e a composição de paredes e o tipo de cobertura. Foram investigados os pavimentos de cobertura, intermediário e térreo. Através das simulações realizadas, montou-se uma base de dados para desenvolver as equações de regressão linear múltipla do método prescritivo para avaliação do nível de eficiência da envoltória do RTQ-R. A base é composta por 112.320 ambientes de permanência prolongada, ventilados naturalmente e 74.880 ambientes condicionados artificialmente.

Os ambientes condicionados naturalmente foram analisados por meio do desempenho do somatório de graus-hora de resfriamento, já o desempenho dos ambientes quando condicionado artificialmente foram analisados pelo consumo de energia do sistema de condicionamento artificial, para resfriamento e aquecimento. A Tabela 6 apresenta o desempenho do melhor e pior caso para o consumo de refrigeração (CR) e consumo de aquecimento (CA) para cada Zona Bioclimática brasileira.

Tabela 6 Resumo do desempenho dos casos simulados para ambientes condicionados artificialmente

| Zona | Cr Mínimo kWh/ano | Cr Máximo kWh/ano | Ca Mínimo kWh/ano | Ca Máximo kWh/ano |
|------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| ZB1  | 0                 | 382               | 120               | 2026              |
| ZB2  | 6                 | 1245              | 120               | 1218              |
| ZB3  | 74                | 1120              | 28                | 863               |
| ZB4  | 0                 | 1495              | 1                 | 675               |
| ZB6  | 119               | 2534              | -                 | -                 |
| ZB7  | 557               | 4101              | -                 | -                 |
| ZB8  | 343               | 3085              | -                 | -                 |

Fonte: LABEEE, 2011b.

Nota-se, a partir dos resultados deste estudo, que, cada Zona Bioclimática, por apresentar diferentes características em relação ao clima, apresenta um comportamento distinto em relação à necessidade de consumo de energia para resfriamento e aquecimento. As Zonas ZB1, ZB2 e ZB3 apresentam um consumo por aquecimento mais significativo. Já nas demais Zonas, este consumo é pouco significativo ou inexistente. Nas Zonas ZB6, ZB7 e ZB8, o consumo por resfriamento é o mais significativo, sendo este pouco demandado em algumas Zonas ou inexistente em outras.

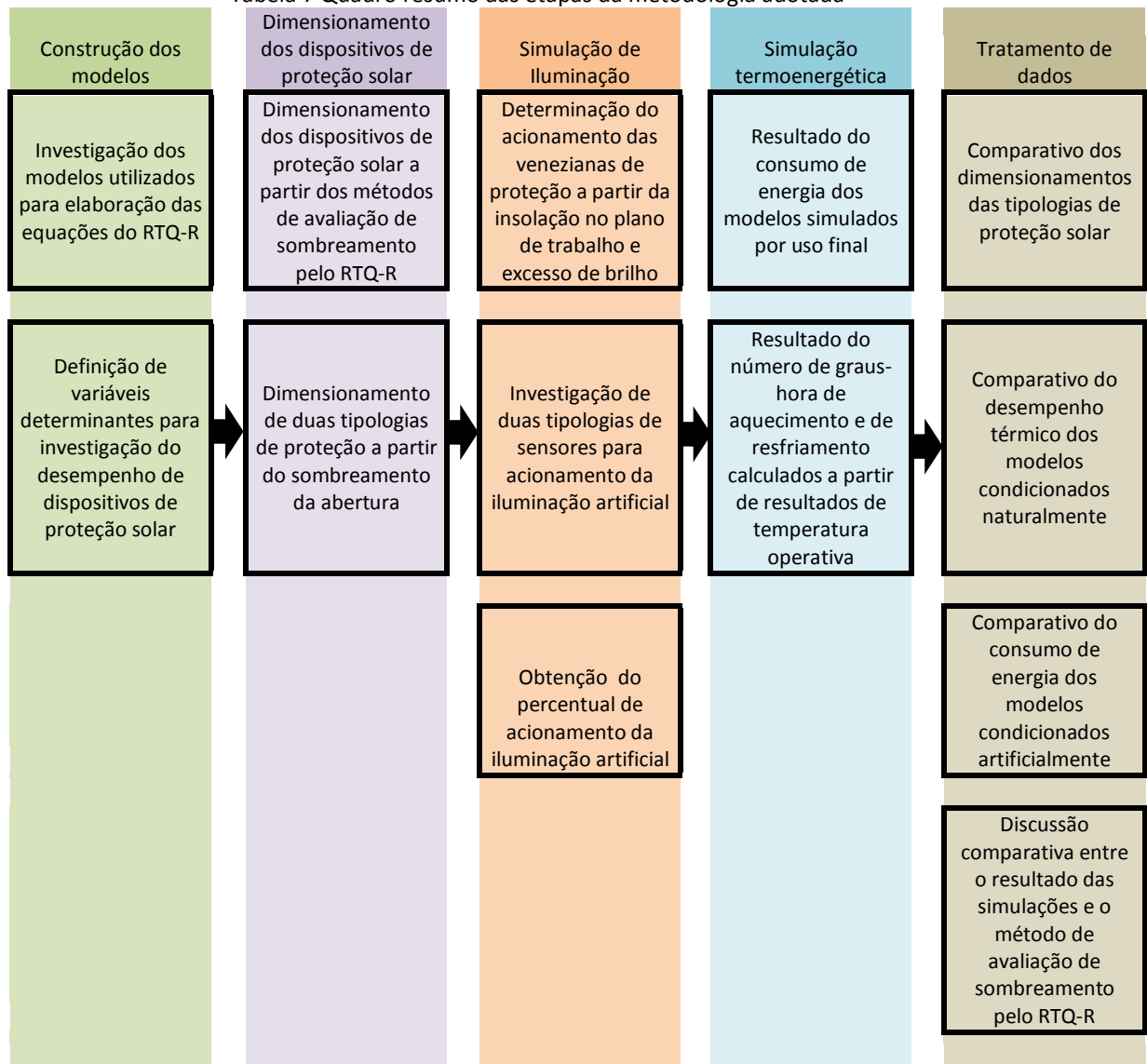
Dentre os resultados da simulação, foi demonstrado que as estratégias de uma edificação condicionada naturalmente são diferentes das estratégias para melhoria de desempenho de uma edificação condicionada artificialmente. Geralmente, nas edificações condicionadas naturalmente, a inércia térmica melhora o desempenho, se utilizada de forma adequada ao clima, já em edificações condicionadas artificialmente, a inércia térmica pode aumentar o consumo de energia.

Segundo o relatório, os resultados comprovam que o desempenho do ambiente depende da combinação de vários parâmetros e destaca entre eles, o sombreamento das aberturas como fator relevante.

### 3. METODOLOGIA

Neste capítulo são descritos os métodos e as ferramentas necessárias para a realização do trabalho proposto. A pesquisa tem caráter quantitativo e é baseada em resultados de simulações computacionais. A seguir, é apresentado um resumo das etapas da metodologia e seus produtos, descrita em detalhes nos itens subsequentes.

Tabela 7 Quadro resumo das etapas da metodologia adotada



A construção dos modelos foi elaborado baseada no Relatório Técnico da Base de Simulações para o RTQ-R (LABEEE, 2011b). Os parâmetros relativos à avaliação dos dispositivos foram alterados em relação ao Relatório original (LABEEE, 2011b) e justificados nos itens 3.1.2 a 3.1.11. O item 3.3 apresenta um quadro comparativo

entre os parâmetros adotados nesta dissertação e aqueles adotados por LABEEE (2011b) nas simulações para elaboração das equações do RTQ-R.

Foram constituídas tipologias de proteções solares para quatro orientações (norte, sul, leste e oeste) avaliadas quanto a sua eficiência para sete cidades distribuídas nas diferentes Zona Bioclimáticas brasileiras.

Na etapa de dimensionamento dos dispositivos (itens 3.2.1 a 3.2.8 a seguir), foram criados modelos de proteção a partir dos diferentes métodos de avaliação do sistema de sombreamento para pontuação no RTQ-R. Além deles, para fins de comparação com a metodologia de determinação do comportamento da variável “Somb” que foi idealizada com o uso de venezianas aplicadas de durante o período de verão para as zonas bioclimáticas de 1 a 4 e para todo os períodos para as demais zonas, propõe-se aqui em dispositivo de proteção solar que bloqueia a radiação solar incidente na abertura com os seguintes critérios: bloqueio da radiação solar de 7:40 as 16:20. Tal metodologia visa bloquear a carga térmica da radiação total direta nos principais horários de uso dos ambientes residenciais de uso prolongado e criar uma maior sensibilidade sobre o dimensionamento de proteções solares no RTQ-R. Os horários limites foram propostos de forma a limitar o tamanho das placas. Foram investigados também modelos de venezianas com comportamento variável de abertura, de acordo com níveis de insolação e brilho no plano de trabalho em análise.

Com a definição dos modelos e suas devidas variações de sombreamento e abertura, foram usados três *softwares*: *Suntool*, *Daysim* e *EnergyPlus*. As definições de proteção solar foram auxiliadas pelo *software Suntool* na construção dos elementos externos de proteção. O *Daysim* gerou resultados referentes ao acionamento das venezianas e do sistema de iluminação artificial. E o *EnergyPlus*, resultados referentes ao desempenho termoenergético, como graus-hora de aquecimento e resfriamento e consumo de energia por uso final. Por fim, os resultados foram apresentados em gráficos e tabelas. As análises de iluminação foram construídas a partir de porcentagem de acionamento da iluminação artificial e as análises termoenergéticas foram geradas a partir de comparações entre o desempenho dos dispositivos. Por fim, foram iniciadas discussões

acerca do método de avaliação da presença de sombreamento pelo RTQ-R.

### 3.1. CONSTRUÇÃO DOS MODELOS

#### 3.1.1. Modelo de distribuição solar

Na Tabela 8 são apresentadas as configurações padrão do *EnergyPlus*, referentes aos algoritmos de convecção, condução e distribuição solar adotados nos casos da base de simulações para o RTQ-R.

Tabela 8 Configurações padrão do *EnergyPlus* adotadas nas simulações

|                                           |                                         |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------|
| <i>Solar distribution</i>                 | <i>FullInteriorAndExterior</i>          |
| <i>SurfaceConvectionAlgorithm:Inside</i>  | <i>Detailed</i>                         |
| <i>SurfaceConvectionAlgorithm:Outside</i> | <i>DOE-2</i>                            |
| <i>HeatBalanceAlgorithm</i>               | <i>CTF – ConductionTransferFunction</i> |
| <i>Timestep</i>                           | <i>4 per hour</i>                       |

Fonte: LABEEE, 2011b.

#### 3.1.2. Arquivo climático e cidades de análise

Variáveis relativas à latitude e localização da edificação são importantes em uma análise de desempenho de iluminação natural e de comportamento térmico. Neste estudo, adotaram-se as cidades simuladas pelo LABEEE (2011b) na elaboração das equações do RTQ-R.

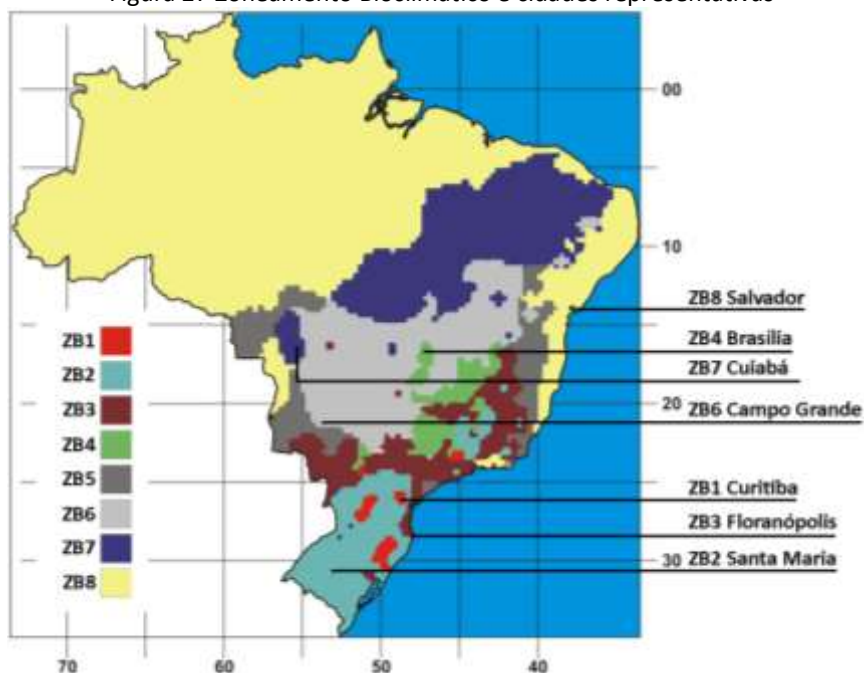
No estudo de LABEEE (2011b), foram eleitas cidades representativas do Zoneamento Bioclimático Brasileiro, sendo uma cidade para cada Zona Bioclimática. Os arquivos climáticos utilizados para as simulações foram do tipo Ano Climático de Referência (*Test Reference Year, TRY*) e TMY2 (*Test Meteorological Year*), estes últimos, os arquivos do projeto SWERA<sup>1</sup>. O arquivo climático TRY é composto por um ano climático sem extremos de temperatura. Já o arquivo TMY2 é composto por uma compilação de meses sem extremos de temperatura provenientes de diferentes anos,

---

<sup>1</sup> Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA) - Projeto de pesquisa que realizou o levantamento de dados sobre os recursos de energia solar e eólica e disponibilizou os dados em arquivo global. Estas ferramentas foram usadas para promover energia eólica e solar em países em desenvolvimento e para ajudar os governos a atrair investimentos em energia alternativa.

que resulta em um ano climático não existente.

Figura 27 Zoneamento Bioclimático e cidades representativas



Fonte: adaptado de (ABNTNBR 15220-1, 2005)

Foi priorizado o uso de arquivos TRY, justificado pela afirmativa de LABEEE (2011b) de que os arquivos climáticos TMY2 do projeto SWERA apresentam dados incompatíveis com a realidade climática da cidade, como temperatura do ar de bulbo seco (TBS), úmido (TBU) e umidade relativa (RH), com valores fixos durante alguns períodos. Os arquivos TRY foram adotados para as Zonas ZB1, ZB3, ZB4 e ZB8. Já para as Zonas ZB2, ZB6 e ZB7, por não existir em TRY, adotaram-se arquivos do modelo TMY2. A Tabela 9 apresenta os arquivos climáticos utilizados nas simulações.

Tabela 9 Indicação dos arquivos climáticos utilizados nas simulações

| Zona Bioclimática | Arquivos do desenvolvimento das equações do RTQ-R e adotados nas simulações deste trabalho |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| ZB-1              | Curitiba - PR (TRY 1969)                                                                   |
| ZB-2              | Santa Maria - RS(TMY2, SWERA)                                                              |
| ZB-3              | Florianópolis - SC (TRY 1963)                                                              |
| ZB-4              | Brasília -DF (TRY 1962)                                                                    |
| ZB-6              | Campo Grande - MS (TMY2,SWERA)                                                             |
| ZB-7              | Cuiabá - MT (TMY2,SWERA)                                                                   |
| ZB-8              | Salvador - BA (TRY 1961)                                                                   |

Fonte: LABEEE, 2011b.

Labeee (2005) não realizou simulações para a Zona Bioclimática 5 por não haver

arquivos climáticos de uma cidade pertencente a esta Zona. Por não haver parâmetro de comparação para analisar os dados das simulações a serem realizadas, a presente pesquisa também não apresentará resultados para a ZB5.

### 3.1.3. Modelos de edificação adotados

Para o desenvolvimento das análises foram adotados modelos de edifício base utilizados para a elaboração das equações preditivas no RTQ-R. Estes modelos correspondem a um edifício residencial multifamiliar e foram investigados os ambientes de dormitório e estar, considerados os ambientes de permanência prolongada da edificação. Os ambientes de estar foram avaliados como condicionados naturalmente e os ambientes de dormitório como condicionados naturalmente e artificialmente. Estas características foram identificadas por LABEEE (2011b) como recorrentes em edificações residenciais. Para esta pesquisa, no ambiente de dormitório, foi possível investigar simultaneamente o impacto das proteções nas diferentes situações de condicionamento: resfriamento, aquecimento, uso de ventiladores do sistema de HVAC, acionamento de iluminação e uso de equipamentos. Para fins do presente estudo, os ambientes de estar e dormitório foram avaliados em um pavimento intermediário da edificação multifamiliar. Para formalização do modelo nas simulações, foram modelados os pavimentos adjacentes a ele conforme Figura 28 abaixo.

Figura 28 Modelos base adotados para as simulações

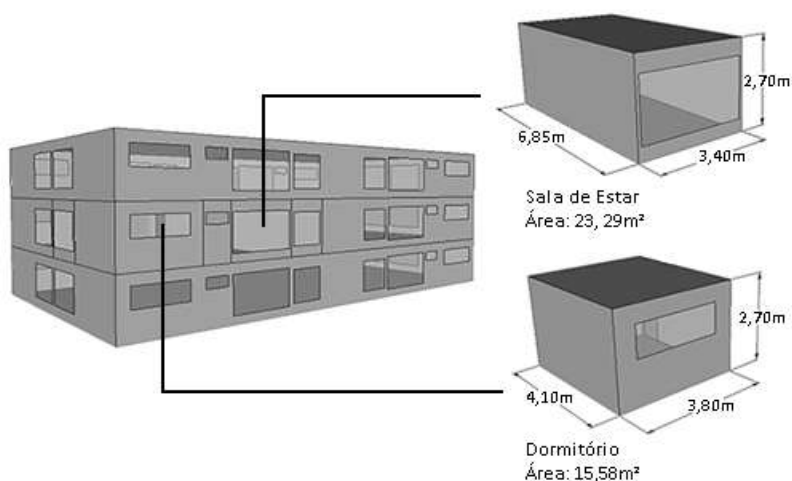
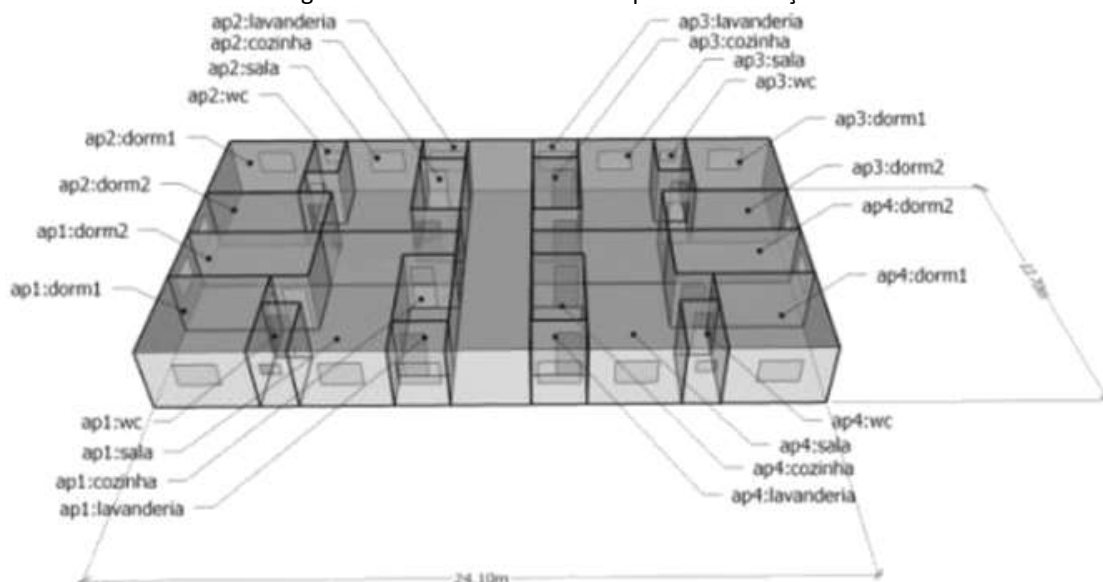


Figura 29 Modelo base adotado para as simulações



Fonte: LABEEE, 2011.

#### 3.1.4. Área de Ventilação e Área Envidraçada

O percentual de área de janela foi definido a partir de uma sobreposição dos valores encontrados por Guedes (2012) e definições conforme modelo base adotado por LABEEE (2011b). Guedes (2012) em levantamento de edifícios de alto, médio e baixo padrão da cidade de Belo Horizonte computou áreas de janela (vãos sem caixilho) em relação a área de piso de 22,30% em média para ambientes de estar e de 16,20% em média para ambientes de dormitório. Sendo assim, nesta pesquisa, optou-se por utilizar áreas de janela de 15% da área de piso para dormitórios e de 25% para ambientes de estar, tais quais as utilizadas nas simulações do Relatório Técnico da Base de Simulações para o RTQ-R (LABEEE, 2011b).

Figura 30 Porcentagem área de abertura – Estar:  
Área de janela 25% a área do piso.

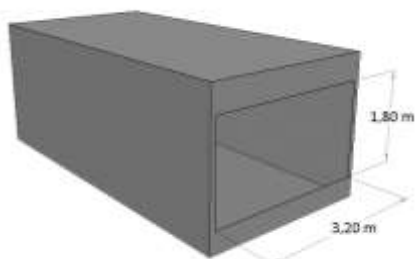
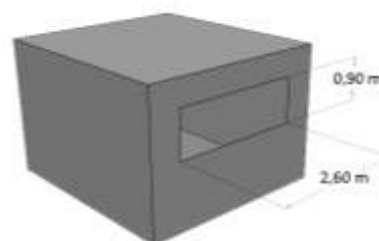


Figura 31 Porcentagem área de abertura –  
Dormitório: Área de janela 15% a área do piso.



### 3.1.5. Propriedades térmicas dos componentes da envoltória

A definição das variações das propriedades térmicas da envoltória foram fixadas e baseadas nas tipologias intermediárias adotadas por LABEEE (2011b), que por sua vez foram retiradas das diretrizes da NBR-15220-3 (ABNT, 2005b). Contudo, os valores relativos às densidades, espessura, condutividade térmica, calor específico e resistência térmica foram calculados de acordo com as propriedades equivalentes das camadas componentes da estrutura avaliada, a fim de se obter uma aproximação às características reais dos materiais. Esta especificação está apresentada na Figura 32.

Em relação à composição da cobertura, o modelo do presente trabalho foi definido a partir do SINPHA (2005) que caracteriza o uso de telha cerâmica e laje estruturada como tipologia padrão das edificações brasileiras. Contudo, cabe observar que esta composição se aplica ao pavimento superior da edificação e não ao pavimento intermediário simulado.

Figura 32 Características das coberturas e paredes adotadas



| Cobertura de telha de barro com câmara de ar e laje de concreto. Espessura da telha: 1,0 cm. Espessura da laje: 12 cm |                |               | Parede de tijolos de 8 furos e assentados na menor dimensão. Dimensões do tijolo: 9,0 x 19,0 x 19,0 cm / espessura da argamassa assentamento: 1,0 cm / esp. da argamassa de emboço: 2,5 cm / esp. total da parede: 20,4 cm |                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| Propriedades                                                                                                          | Telha cerâmica | Laje concreto | Composição Alvenaria                                                                                                                                                                                                       | Argamassa Reboco e Emboço |
| Calor específico(J/kg.K)                                                                                              | 920            | 920           | 540.4                                                                                                                                                                                                                      | 1000                      |
| Densidade(kg/m <sup>3</sup> )                                                                                         | 2000           | 2200          | 950                                                                                                                                                                                                                        | 2000                      |
| Condutividade (w/m <sup>2</sup> .K)                                                                                   | 0,92           | 1,33          | 0,9                                                                                                                                                                                                                        | 1,15                      |

Fonte: adaptado de LABEEE, 2013.

A Tabela 10 a seguir apresenta as propriedades térmicas e ópticas do vidro adotado nas simulações.

Tabela 10 Propriedades térmicas e ópticas do vidro.

| Propriedades                                                              | Valores |
|---------------------------------------------------------------------------|---------|
| Espessura                                                                 | 3,0 mm  |
| Transmissão a radiação solar para a incidência normal                     | 0,837   |
| Refletância a radiação solar para incidência normal ( <i>front side</i> ) | 0,075   |
| Refletância a radiação solar para incidência normal ( <i>back side</i> )  | 0,075   |
| Transmitância a luz visível para incidência normal                        | 0,898   |
| Refletância a luz visível para incidência normal ( <i>front side</i> )    | 0,081   |
| Refletância a luz visível para incidência normal ( <i>back side</i> )     | 0,081   |
| Transmitância a radiação infravermelha                                    | 0,0     |
| Emissividade hemisférica a radiação infravermelha ( <i>front side</i> )   | 0,84    |
| Emissividade hemisférica a radiação infravermelha ( <i>back side</i> )    | 0,84    |
| Condutividade térmica (W/m-K)                                             | 0,9     |

Fonte: LABEEE, 2011b.

### 3.1.6. Refletância dos materiais

Quanto às características de refletância interna do ambiente, optou-se por empregar valores de reflexão com base nos adotados por Steffy (1990 *apud* SOUZA, 2003), uma vez que tratam-se de valores medidos *in loco* e já usados por vários autores(SOUZA, 2003);GUEDES(2012);CINTRA(2011).

Tabela 11 Refletância da superfície dos materiais adotados

| Superfície | Refletância |
|------------|-------------|
| Pisos      | 20%         |
| Tetos      | 70%         |
| Paredes    | 50%         |
| Alpendre   | 25%         |

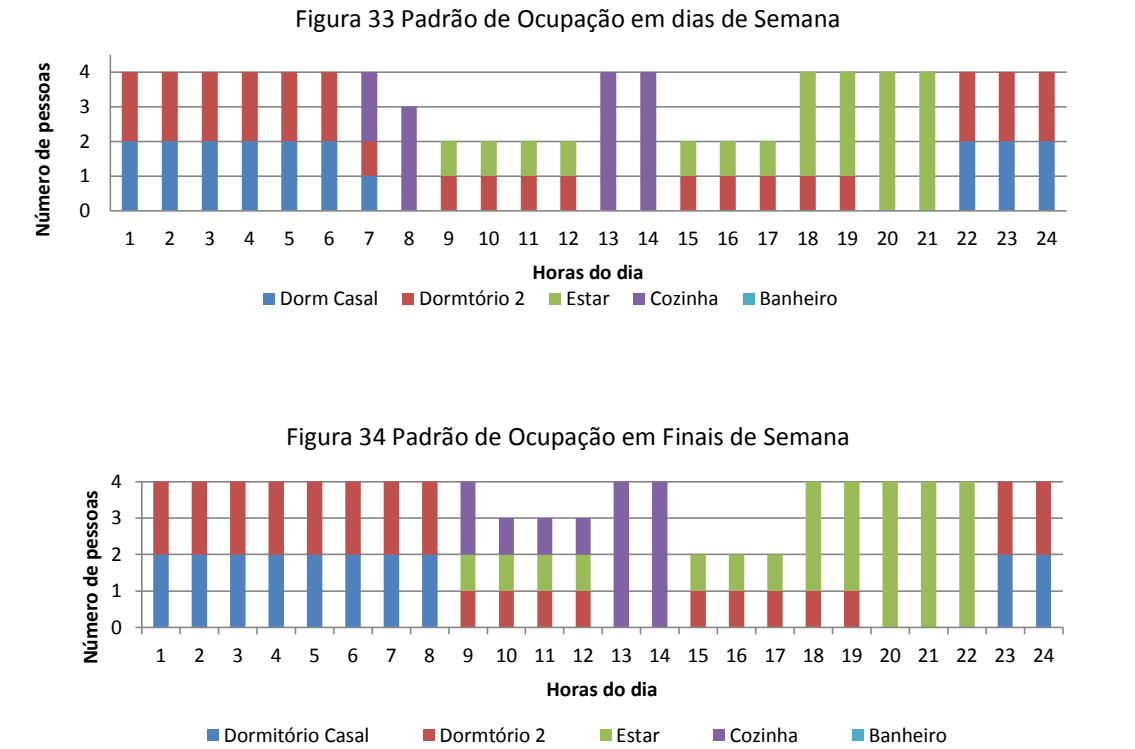
Fonte: Adaptado de Steffy (1990 *apud* SOUZA, 2003)

Para todos os dispositivos de sombreamento avaliados foram adotadas refletâncias de 50%, conforme adotado por LABEEE (2011b). Não foram feitas diferenciações de refletância entre os dispositivos.

### 3.1.7. Padrão de ocupação

O padrão de ocupação definido para as simulações foi construído a partir de uma ocupação média de quatro pessoas por unidade habitacional, sendo duas por dormitório (LABEEE, 2011b). Uma vez que esta pesquisa se propõe avaliar as condições de desempenho de elementos de proteção solar projetados para auxiliar contra a insolação direta durante o período diurno, esta ocupação foi determinada para

garantir uma ocupação mínima ao longo do período diurno. Apenas durante o horário de almoço ou ao anoitecer não foram previstas ocupações nos ambientes de sala e dormitório, conforme ilustrado na Figura 33 e Figura 34.



De acordo com o tipo de atividade desempenhada em cada ambiente, definiram-se as taxas metabólicas para cada atividade, conforme apresentado na Tabela 12. Os valores recomendados para essas taxas foram baseados na ASHRAE (2005), considerando uma área de pele média de 1,80 m².

Tabela 12 Taxas metabólicas para cada atividade

| Zona       | Atividade realizada      | Calor produzido (W/m²) | Calor produzido para área de pele – 1,80 m² (W) |
|------------|--------------------------|------------------------|-------------------------------------------------|
| Estar      | Sentado ou assistindo TV | 60                     | 108                                             |
| Dormitório | Dormindo ou descansando  | 45                     | 81                                              |
|            | Estudando (Computador)   | 60                     | 108                                             |

Fonte: adaptado da ASHRAE, 2005

### 3.1.8. Padrão de Iluminação Artificial

Para definição do posicionamento das luminárias foi feito um projeto luminotécnico

cujo cálculo e especificação da luminária estão representados na tabela abaixo.

| Tabela 13 Parâmetros para definição do projeto luminotécnico |       |            |                                                                                    |
|--------------------------------------------------------------|-------|------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Parâmetros                                                   | Estar | Dormitório | Luminária                                                                          |
| Área (m <sup>2</sup> )                                       | 2,29  | 15,58      |  |
| Fd (Fator de depreciação)                                    |       | 0,8        |                                                                                    |
| Fu (Fator de Utilização)                                     |       | 0,4        |                                                                                    |
| Fluxo Luminoso (lm)                                          |       | 1750       |                                                                                    |
| Potência Lâmpada (W)                                         |       | 26         |                                                                                    |
| RCR (Índice do Ambiente)                                     | 88,42 | 45,59      |                                                                                    |
| Fluxo Luminoso Total                                         | 7278  | 4868       |                                                                                    |
| Número de lâmpadas                                           | 4     | 3          |                                                                                    |
| Número de Luminárias                                         | 2     | 1          |                                                                                    |
| Potência Total instalada (W)                                 | 104   | 78         |                                                                                    |
| Potência por m <sup>2</sup> (W/m <sup>2</sup> )              | 4,5   | 5,0        |                                                                                    |

Figura 35 Vista em planta Estar

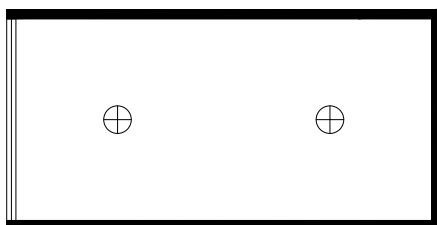
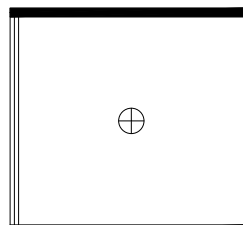


Figura 36 Vista em planta Dormitório



O padrão de acionamento da iluminação artificial foi definido de acordo com a média da disponibilidade de luz natural nos ambientes. A iluminação artificial é acionada a partir da necessidade desta em cumprir o nível mínimo exigido pela NBR ABNT 5413, de acordo com a tarefa realizada e nível de precisão necessário. Para os ambientes simulados de dormitório e estar foram adotados os níveis mínimos de 100 lux, considerando a discussão do item 2.2.2 da revisão bibliográfica.

A rotina de acionamento das luminárias foi definida pelos resultados das simulações de iluminação natural – método a ser descrito no item 3.5.2 deste capítulo. Para o ambiente de estar foram extraídos dois resultados de acionamento, uma vez que foram dimensionadas duas luminárias para o ambiente.

Para fins de investigação do sistema de acionamento que melhor representaria os objetivos desta pesquisa, foram investigadas duas formas de acionamento baseadas

no modelo comportamental de usuários do *Daysim* 3.0 – *Lighthswitch* 2.0, já discutidos no item 2.4.2 da revisão bibliográfica. Trata-se dos modelos *switch off occupancy sensor* e *Combination on/off occupancy and dimming system*, denominados nesta dissertação de Sensor-Usuário e Sensor-Automatizado, respectivamente. O resultado gerado pelo *Daysim* relativo ao Sensor-Usuário considera o comportamento de um usuário que aciona o sistema de iluminação uma vez ao dia, apenas quando os níveis de iluminação estão abaixo do determinado e que a iluminação será desligada automaticamente quando não há ocupação. Trata-se da representação de um usuário ativo que aciona inicialmente iluminação artificial apenas quando necessário, ou seja, quando o nível de iluminância é insuficiente para a realização da tarefa, e desliga a iluminação artificial ao deixar o ambiente. Este modelo é baseado no comportamento destacado por Reinhart (2005) de que o usuário tende a manter a iluminação acionada durante sua estadia no ambiente independente do nível de iluminância requerido.

Já o resultado gerado pelo *Daysim* relativo ao modelo Sensor-Automatizado, é baseado nos resultados de automatização e dimerização por fotosensor, no qual a iluminação é acionada ou não de acordo com os níveis de iluminância requeridos para realização da tarefa. Contudo, com intuito de aproximar o modelo a uma análise para edificações residenciais, foi estimado um sistema *on/off* de ativação com dois momentos de ativação (ligado ou desligado) definido a partir dos resultados do sistema dimerizável. Ou seja, quando o sistema dimerizável apresentou indicativo de acionamento total ou parcial foi considerado o acionamento do sistema de iluminação por completo, simulando o comportamento de um sistema *on/off*. Este modelo Sensor-Automatizado representa um usuário idealizado que aciona a iluminação apenas quando necessário para o complemento dos níveis de iluminação e tem por objetivo dar uma condição mais apurada de análise do potencial de economia de energia dos dispositivos de proteção solar analisados.

### 3.1.9. Padrão de equipamentos

Os modelos foram simulados com cargas internas de equipamentos conforme demonstrado na Tabela 14. O padrão de uso da carga interna de equipamentos acompanhou o padrão de ocupação do ambiente.

Tabela 14 Cargas internas de equipamentos dos modelos

| Ambiente   | Potência (W) |
|------------|--------------|
| Estar      | 20,74        |
| Dormitório | 55           |

Fonte: NBR 16401, 2008

### 3.1.10. Critérios para a ventilação natural dos ambientes.

Os critérios adotados para ventilação natural dos modelos foram determinados a partir de um padrão de ventilação seletiva, conforme LABEEE (2011b).

A abertura das janelas é acionada quando a temperatura do ar do ambiente é igual ou menor que a temperatura de *setpoint* ( $T_{int} \leq T_{setpoint}$ ), ou quando a temperatura do ar interno é superior à externa ( $T_{int} > T_{ext}$ ). A temperatura determinada de *setpoint* é de 20°C.

Como dados de entrada das simulações, foi necessária a definição do coeficiente de pressão ( $C_p$ ), do coeficiente de descarga ( $C_d$ ), do coeficiente de fluxo de ar pelas frestas ( $C_q$ ) e rugosidade do entorno ( $\alpha$ ) (SORGATO, 2009).

Segundo o autor, as diferentes formas de estimar os coeficientes de pressão podem proporcionar diferentes resultados. Nas simulações do método prescritivo do Regulamento (RTQ-R), assim como para este estudo, foram adotadas as equações que calculam o valor médio do coeficiente de pressão para a superfície (para edificações altas) de Akins *et al.* (1979 *apud* LABEEE, 2011b). Estas são utilizadas pelo programa *EnergyPlus* na opção do cálculo médio dos coeficientes de pressão superficial.

Para o componente de descarga foi adotado o valor médio de  $C_d = 0,60$  para janelas e portas retangulares, o mesmo adotado por LABEEE (2011b). Para o coeficiente de fluxo

de massa de ar por frestas ( $C_q$ ) e o expoente de fluxo de ar ( $n$ ), adotou-se o valor de  $C_q = 0,001$  e  $n = 0,65$ . Estes valores foram baseados nos exemplos disponibilizados no pacote do *EnergyPlus 7.2*. A correção da velocidade do vento em relação à diferença de rugosidade do entorno é determinada pelo coeficiente de rugosidade do entorno ( $\alpha$ ). O valor adotado nas simulações foi de 0,33, que representa um terreno de centro urbano no qual 50% das edificações possuem altura maior que 21m. O valor recomendado é baseado na ASHRAE (2009) que estabelece o expoente  $\alpha=0,33$  e  $\delta=460$  para a camada limite. Segundo Sorgato (2009), a maioria das edificações residenciais encontra-se em centros urbanos, onde o entorno apresenta maior densidade. Essa característica justifica o uso do coeficiente de rugosidade de 0,33, para simulações de edificações residenciais que se encontram em centros urbanos.

Tabela 15 Descrição dos dados de entrada dos parâmetros da ventilação natural.

| Parâmetros                                              | Valores adotados |
|---------------------------------------------------------|------------------|
| 1 - Coeficiente de pressão                              | TNO              |
| 2 - Coeficiente de descarga                             | 0,60             |
| 3 - Coeficiente de frestas quando a janela está fechada | 0,001; $n=0,65$  |
| 4 - Rugosidade do entorno                               | 0,33             |

Fonte: LABEEE, 2011b.

Foi definida a área de ventilação natural como 45% da área de abertura, uma vez que corresponde a uma área de abertura comum a diversas tipologias de esquadrias. Esta área foi fixada de forma a permitir um estudo comparativo dos dispositivos independentemente do tipo de esquadria simulada.

#### 3.1.11. Padrão de uso do HVAC

O período de condicionamento artificial também foi vinculado ao padrão de ocupação do dormitório. O período de acionamento é definido de acordo com a necessidade de condicionamento artificial do ambiente simulado, ou seja, quando as temperaturas internas atingem os limites de termostato definidos por 24°C para refrigeração e 22°C para aquecimento. Na modelagem do sistema de condicionamento artificial é preciso definir parâmetros como taxa de fluxo de ar por pessoa, modo de operação do ventilador, eficiência do ventilador e a razão entre o calor retirado ou fornecido para o ambiente em relação à energia consumida pelo equipamento de condicionamento (COP – Cooling Coil Rated, Heat Pump Heating Coil Rated). Os parâmetros adotados

para a simulação do sistema de condicionamento de ar foram retirados de LABEEE (2011b) e definidas conforme as Tabela 16 e Tabela 17.

Tabela 16 Parâmetros do sistema de condicionamento de ar.

| Setpoint do HVAC:      | COP:                     |
|------------------------|--------------------------|
| 24°C para refrigeração | 3,00 W/W – Refrigeração; |
| 22°C para aquecimento  | 2,75 W/W – Aquecimento;  |

Fonte: LABEEE, 2011b.

O sistema de ar condicionado foi modelado no *EnergyPlus* através do *template Packaged Terminal Heat Pump (PTHP)*, que consiste em um aparelho de ar condicionado do tipo bomba de calor, funcionando com compressor externo apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 Parâmetros da modelagem do sistema de condicionamento artificial - *Packaged Terminal Heat Pump (PTHP)*.

| Parâmetros                                                     | Condição                      |
|----------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Cooling Supply Air Flow Rate {m <sup>3</sup> /s}               | autosize (m <sup>3</sup> /s); |
| Heating Supply Air Flow Rate {m <sup>3</sup> /s}               | autosize (m <sup>3</sup> /s); |
| Outdoor Air Method                                             | Flow/Person;                  |
| Outdoor Air Flow Rate per Person                               | 0,00944 (m <sup>3</sup> /s);  |
| Supply Fan Operative Mode                                      | Continuous;                   |
| Supply Fan Placement                                           | DrawThrough;                  |
| Supply Fan Total Efficiency                                    | 0.7;                          |
| Supply Fan Delta Pressure                                      | 75 (Pa);                      |
| Supply Fan Motor Efficiency                                    | 0.9;                          |
| Cooling Coil Type                                              | SingleSpeedDX;                |
| Cooling Coil Rated Capacity                                    | autosize (W);                 |
| Cooling Coil Rated Sensible Heat Ratio                         | autosize;                     |
| Cooling Coil Rated COP <sup>1</sup>                            | 3,00 (W/W);                   |
| Heat Pump Heating Coil Type                                    | SingleSpeedDXHeatPump;        |
| Heat Pump Heating Coil Rated Capacity                          | autosize (W);                 |
| Heat Pump Heating Coil Rated COP <sup>2</sup>                  | 2,75 (W/W);                   |
| Heat Pump Heating Minimum Outdoor Dry-Bulb Temperature         | -8°C;                         |
| Heat Pump Defrost Maximum Outdoor Dry-Bulb Temperature         | 5°C;                          |
| Heat Pump Defrost Strategy                                     | ReverseCycle;                 |
| Heat Pump Defrost Control                                      | Timmed;                       |
| Heat Pump Defrost Time Period Fraction                         | 0.058333;                     |
| Supplemental Heating Coil Type                                 | Electric;                     |
| Supplemental Heating Coil Capacity                             | autosize (W);                 |
| Supplemental Heating Coil Maximum Outdoor Dry-Bulb Temperature | 21°C;                         |
| Supplemental Gas Heating Coil Efficiency                       | 0,8                           |

Fonte: LABEEE, 2011b.

Na Tabela 18 são apresentadas as configurações padrão do *EnergyPlus*, referentes aos

algoritmos de convecção, condução e distribuição solar.

Tabela 18 Configurações padrão do *EnergyPlus* adotadas nas simulações.

| Parâmetro                                 | Algoritmo adotado                       |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------|
| <i>Solar distribution</i>                 | <i>FullInteriorAndExterior</i>          |
| <i>SurfaceConvectionAlgorithm:Inside</i>  | <i>Detailed</i>                         |
| <i>SurfaceConvectionAlgorithm:Outside</i> | <i>DOE-2</i>                            |
| <i>HeatBalanceAlgorithm</i>               | <i>CTF - ConductionTransferFunction</i> |
| <i>Timestep</i>                           | <i>4 per hour</i>                       |

Fonte: LABEEE, 2011b.

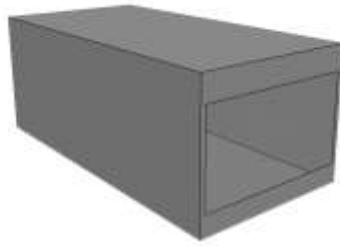
### 3.2. DIMENSIONAMENTO DOS DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO SOLAR

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram investigados dispositivos de proteção constituídos de acordo com a pontuação máxima possível pela utilização dos métodos no Regulamento de Eficiência Energética residencial (RTQ-R) e comparados ao desempenho de modelos de venezianas. Além destes, foram investigadas duas variações de proteções externas dimensionadas para barrar a insolação na abertura em determinado período, sendo uma inteira e outra filetada. Para esta pesquisa foram utilizados apenas dispositivos de proteção externos às aberturas, fixos e incorporados ao volume da edificação e/ou da abertura. Foram estudadas no total sete tipologias de dispositivos comparadas com um modelo sem proteção. Tais variações estão descritas nos itens seguintes.

#### 3.2.1. Protótipo sem proteção (SP)

Este protótipo foi adotado como base para investigar o impacto das proteções nos ambientes em estudo. Trata-se de um modelo sem dispositivos de proteção e, portanto, não sujeito a pontuação pela variável *somb* do RTQ-R (Figura 37).

Figura 37 Protótipo sem proteção solar – Ambiente Estar



3.2.2. Protótipo com veneziana externa definida de acordo com o modelo adotado para a elaboração do RTQ-R (VRTQR)

Trata-se de uma veneziana externa definida pelas orientações do relatório técnico de elaboração das equações do RTQ-R (LABEEE, 2011b). Segundo LABEEE (2011b), as venezianas foram modeladas sempre acionadas (fechadas) para as Zonas 6 a 8 no período de 8 às 18 horas e, para as Zonas 1 a 4, fechadas no verão (21 de setembro a 20 de março) e abertas durante o inverno (21 março a 20 setembro).

Figura 38 Protótipo com veneziana VRTQR externa quando fechada.

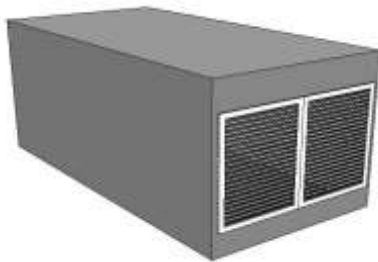


Figura 39 Protótipo com veneziana VRTQR externa quando aberta

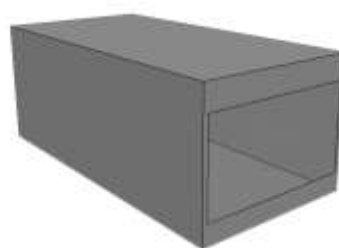
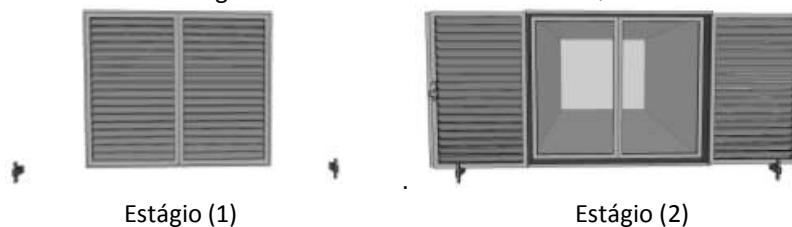
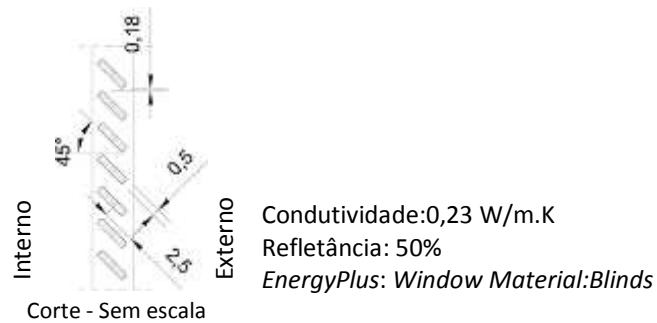


Figura 40 Modo de abertura da VRTQR



A veneziana foi modelada no *EnergyPlus* através do item *Window material: Blind*, de acordo com as definições da Figura 41.

Figura 41 Modelo de veneziana adotado nas simulações



### 3.2.3. Protótipo com veneziana com abertura de até 45% da área (V45)

Este protótipo pretende representar venezianas comumente utilizadas em edificações multifamiliares e apresentam envidraçamento de 45% do vão da abertura. Esta tipologia é caracterizada por três folhas, sendo duas compostas por venezianas e uma envidraçada (Figura 44).

O acionamento desta veneziana foi determinado pelo algoritmo *ligthswitch* do *Daysim*, que dita sobre o comportamento do usuário quanto ao acionamento de persianas, conforme discutido no item 2.4.2. Este modelo foi adotado para simular o acionamento de venezianas externas a abertura, considerando que o usuário, tal qual no modelo de persiana, irá bloquear a incidência solar nas situações previstas.

Figura 42 Protótipo com veneziana V45 quando aberta

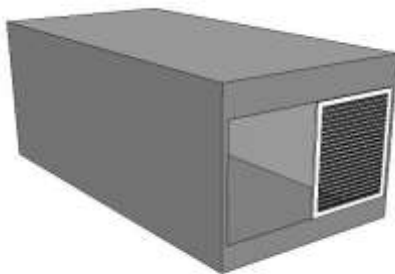


Figura 43 Protótipo com veneziana V45 externa quando fechada.

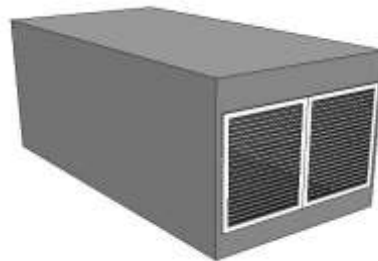


Figura 44 Modelo de estágio de abertura da tipologia V45



Estágio (1)



Estágio (2)

Figura 45 Modelo Comercial de Veneziana V45



Fonte: TELHANORTE, 2013.

Figura 46 Modelo Comercial Veneziana V45



Fonte: TELHANORTE, 2013.

#### 3.2.4. Protótipo com veneziana com abertura completa da área (V90)

Este protótipo pretende representar venezianas utilizadas em edificações que apresentem a característica de envidraçamento em toda a área do vão da abertura. Esta tipologia é caracterizada por quatro folhas sendo duas compostas por venezianas e duas envidraçadas (Figura 50).

Figura 47 Protótipo com veneziana V90 quando aberta



Figura 48 Protótipo com veneziana V90 externa quando fechada.

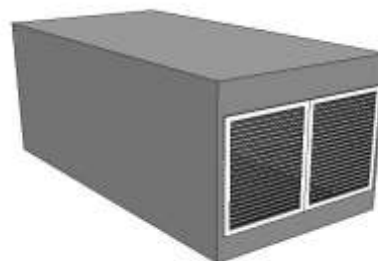
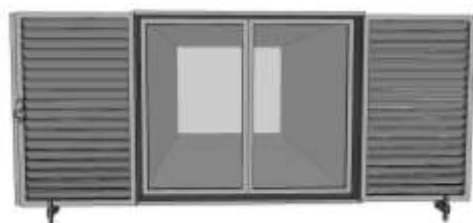


Figura 49 Modo de abertura da V90



Estágio (1) - Veneziana Fechada



Estágio (2) – Veneziana Aberta

Figura 50 Modelo comercial da veneziana V90



Fonte:UOL, 2013.

Figura 51 Modelo comercial da veneziana V90



Fonte:TELHANORTE, 2013.

O acionamento deste protótipo também foi determinado pelo algoritmo *ligthswitch* do *Daysim* que dita sobre o comportamento do usuário quanto ao acionamento de persianas, conforme discutido no item 2.4.2. Este modelo foi adotado para simular o acionamento de venezianas externas a abertura, considerando que o usuário, tal qual no modelo de persiana, irá bloquear a incidência solar nas situações previstas pelo algoritmo.

### 3.2.5. Protótipo com dispositivos de proteção solar horizontais definidos pelo método das latitudes do RTQ-R (L23)

Este protótipo foi baseado no texto do RTQ-R que objetiva apresentar uma maneira simplificada de mensurar o sombreamento realizado por varandas, beirais e brises horizontais podendo alcançar valores de *somb* de até 0,2 (BRASIL, 2012). Este método é baseado na referência da latitude e pretende exigir o sombreamento durante o período de verão, quando o sol se posiciona alto em relação à abertura. Esta metodologia de avaliação é apresentada no RTQ-R, por meio de errata apresentada em nota técnica nº2 publicada em 13/03/2012, pelas seguintes equações:

Limite para  $\alpha$  ou  $\gamma$  norte =  $23,5^\circ - \text{Lat}$

Equação 7

Limite para  $\alpha$  ou  $\gamma$  sul =  $23,5^\circ - \text{Lat}$

Equação 8

Limite para  $\alpha$  ou  $\gamma$  leste e oeste =  $45^\circ$

Equação 9

Fonte: BRASIL, 2012.

Sendo,

Lat - valor absoluto da latitude do local (valores negativos para o hemisfério Sul);

$\alpha$  - ângulo de altitude solar a normal da fachada que limita a proteção solar;

$\gamma$  - ângulo da altura solar perpendicular a normal da fachada que limita as laterais da proteção solar.

Contudo, se avaliarmos a carta solar para a orientação sul observa-se que quanto maior a latitude, menor a insolação para a fachada sul. Sendo assim, se avaliarmos a pertinência da exigência de sombreamento da fachada sul para essa metodologia (L23), observamos que a equação deveria ser invertida, considerando que a declinação solar é voltada para a orientação norte. Além disso, os valores de Latitudes considerados deveriam ser relativos permitindo o uso de sinal negativo para latitudes do hemisfério sul. Sendo assim, a equação para a orientação sul considerada neste estudo foi:

Limite para  $\alpha$  ou  $\gamma$  Sul =  $23,5^\circ + \text{Lat}$

Equação 10

Sendo,

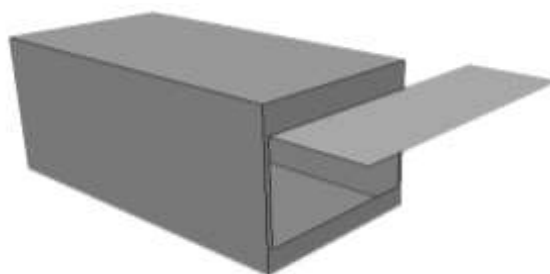
Lat - valor relativo da latitude do local (valores negativos para o hemisfério Sul);

$\alpha$  - ângulo de altitude solar a normal da fachada que limita a proteção solar;

$\gamma$  - ângulo da altura solar perpendicular a normal da fachada que limita as laterais da proteção solar

A Figura 52 apresenta um exemplo de protótipo representativo do modelo L23.

Figura 52 Exemplo de protótipo com elementos de proteção solar horizontais definidos pelo método do RTQ-R



### 3.2.6. Protótipo com dispositivos de proteção solar segundo o método do Anexo 1 do RTQ-R (TN)

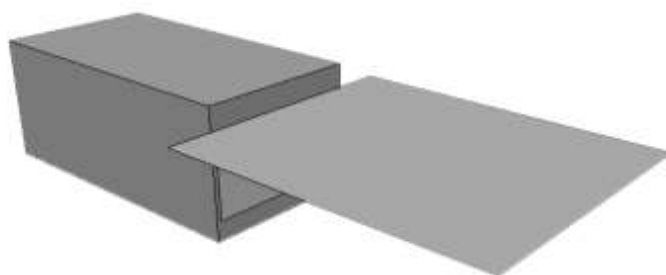
Este protótipo foi definido a partir do dimensionamento das proteções pelo método de

avaliação do Anexo 1 do RTQ-R. Este método é baseado nos estudos de Pereira e Souza (2008) que, a partir da plotagem das temperaturas sob a carta solar, determinam áreas de necessidade de sombreamento em que a radiação solar coincide com as maiores temperaturas. Conforme explicitado pelo item 2.5.1, o método determina ângulos de sombreamento e se diferenciam as pequenas aberturas (15% da área do piso) das grandes aberturas (25% da área do piso). Porém, no presente estudo, foi utilizada apenas a exigência de sombreamento para grandes aberturas visando melhor desempenho do protótipo quando comparado aos demais métodos, uma vez que, para grandes aberturas este método é menos permissivo à insolação. O método permite a obtenção de até 0,5 pontos no *somb*.

Os ângulos indicados para a proteção solar estão disponíveis em documento denominado Anexo1 RTQ-R e disponibilizado no site [www.procelinfo.com.br/etiquetagem\\_edificios](http://www.procelinfo.com.br/etiquetagem_edificios).

A Figura 52 apresenta um exemplo de protótipo representativo do modelo L23.

Figura 53 Exemplo de protótipo com dispositivos de proteção solar segundo o método de Tn – Anexo 1 RTQ-R



### 3.2.7. Protótipo com dispositivo de proteção solar para sombreamento das 7h40 às 16h20 (70% das horas de insolação) – Placa inteira (PTI)

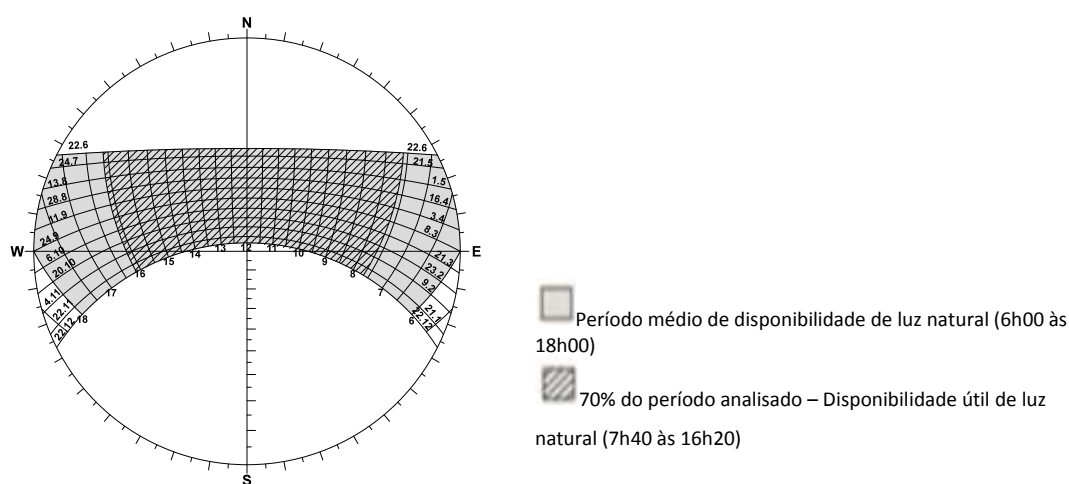
Para a elaboração deste protótipo foi considerado o texto do RTQ-R que conceitua a variável *Somb*(BRASIL, 2012).

*Somb* é a variável que define a presença de dispositivos de proteção solar externos as aberturas. Seu valor deve ser 0 (zero), quando não houver dispositivos de proteção solar, e 1 (um) quando houver venezianas que cubram 100% da abertura quando fechada. (BRASIL, 2012)

Nota-se a valorização do sombreamento da veneziana que recebe a nota máxima igual a 1 (um), uma vez que barra as radiações direta e difusa durante todo seu período de acionamento. Com intuito de valorizar a utilização de elementos de proteção solar, pretende-se investigar uma metodologia que evite a radiação direta em períodos pré-determinados por meio de elementos externos de sombreamento, para que estes possam ser comparados e equalizados ao uso de venezianas.

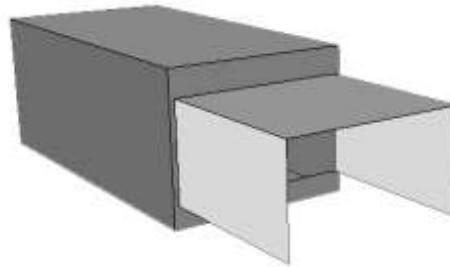
No entanto, para determinar o período de proteção deste protótipo, considerou-se o raciocínio de Guedes (2012) já citado no item 2.2.1 da Revisão Bibliográfica, que especifica um período com disponibilidade de iluminação natural de acordo com as exigências do RTQ-R quanto ao nível de atendimento pela iluminação natural: em ambientes com proteção solar deve-se garantir o atendimento de 100 lux em 70% dos espaços durante 70% das horas de disponibilidade de luz natural. Entende-se como período médio de horas de sol em qualquer localidade o intervalo das 6h00 às 18h00 horas. Assim, analisou-se o período efetivo de exigência do RTQ-R correspondente a 70% das horas das horas médias de disponibilidade de luz natural. Este período corresponde a 8,4 horas de sol diárias e, uma vez que a trajetória solar é simétrica, definiu-se o marco de 12h00 como divisor. Dessa forma, estipulou-se o horário de proteção das 7h40 às 16h20 nomeado por Guedes (2012) como período de disponibilidade útil de luz natural. A Figura 54 demonstra a sobreposição do horário avaliado na carta solar para a cidade de Florianópolis.

Figura 54 Sobreposição dos horários de sombreamento da Carta Solar Florianópolis



O protótipo PTI foi idealizado com a previsão de sombreamento durante este período de disponibilidade de luz natural útil (7h40 às 16h20). Foi prevista uma composição de placas inteiras horizontais e verticais, conforme exemplo da Figura 55, para as orientações norte e sul, e uma composição de placas horizontais para as orientações leste e oeste.

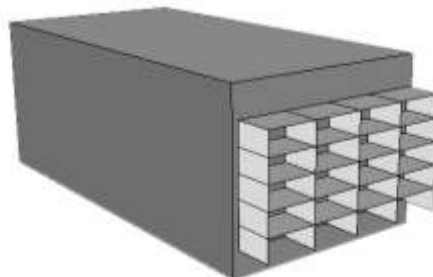
Figura 55 Exemplo de protótipo com dispositivos de proteção externos com sombreamento das 7h40 às 16h20 – Placa inteira



### 3.2.8. Protótipo com dispositivo de proteção solar para sombreamento das 7h40 às 16h20 (70% das horas de insolação) – Placas filetadas (PTF)

Este protótipo é caracterizado da mesma forma que o anterior. Porém, neste caso, procurou-se filetar as proteções a fim de investigar a influência da forma do dispositivo e o impacto de maiores superfícies refletivas quanto ao desempenho térmico e luminoso em ambientes com esta tipologia de proteção (Figura 56).

Figura 56 Exemplo de protótipo com dispositivos de proteção externos com sombreamento das 7h40 às 16h20 – Placas filetadas

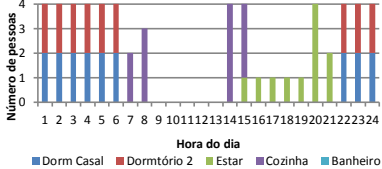
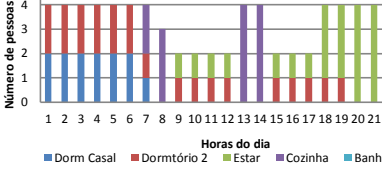
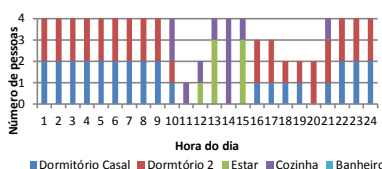
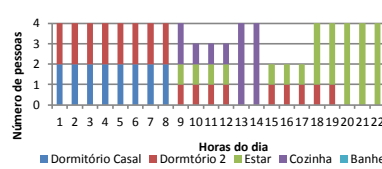


## 3.3. COMPARATIVO ENTRE PARÂMETROS ADOTADOS PELAS SIMULAÇÕES DO RTQ-R

Com intuito de esclarecer as diferenças entre as simulações realizadas por LABEEE

(2011b) para elaboração das equações do RTQ-R e as realizadas nesta dissertação, foi elaborada a tabela resumo (Tabela 19):

Tabela 19 Comparativo entre as definições adotadas para elaboração das equações do RTQ-R e nesta dissertação

|                                          |                 | Definições adotadas para elaboração das equações do RTQ-R                                                                                                                                  | Definições adotadas neste trabalho                                                                                                                                                                |
|------------------------------------------|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tipologia arquitetônica                  |                 | Pavimentos térreo, intermediário e cobertura                                                                                                                                               | Pavimento intermediário                                                                                                                                                                           |
| Variações geométricas dos modelos        |                 | <b>Modelo 1:</b> com pé direito duplo em todos os ambientes; <b>Modelo 2:</b> com área da planta dobrada em todos os ambientes.                                                            | Não há                                                                                                                                                                                            |
| Padrão de ocupação                       | Dias de Semana  |                                                                                                           |                                                                                                                 |
|                                          | Final de semana |                                                                                                          |                                                                                                                |
| Taxas metabólicas                        |                 | <b>Estar:</b> sentado ou assistindo tv = 60 W/m <sup>2</sup><br><b>Dormitório:</b> dormindo ou descansando = 45 W/m <sup>2</sup>                                                           | <b>Estar:</b> sentado ou assistindo tv = 60 W/m <sup>2</sup><br><b>Dormitório:</b> dormindo ou descansando = 45 W/m <sup>2</sup><br><b>Dormitório:</b> sentado ou estudando = 60 W/m <sup>2</sup> |
| Padrão de iluminação                     |                 | Padrão definido de acordo com a ocupação                                                                                                                                                   | Definido a partir das simulações de iluminação natural de acordo com a necessidade de acionamento do sistema.                                                                                     |
| Potência de iluminação                   |                 | <b>Estar:</b> 100 W; <b>Dormitório:</b> 60 W                                                                                                                                               | Projeto luminotécnico. <b>Estar:</b> 104 W; <b>Dormitório:</b> 78 W                                                                                                                               |
| Equipamentos                             |                 | <b>Estar:</b> 20,74 W por 24h                                                                                                                                                              | <b>Estar:</b> 20,74 W por período de ocupação;<br><b>Quarto:</b> 55,0 W por período de ocupação                                                                                                   |
| Padrão de HVAC                           |                 | <b>Dormitórios:</b> das 21h às 8h nos dias úteis e das 22h às 9h nos finais de semana. SetPoint: 22 ° e 24 °                                                                               | <b>Dormitórios (Conicionados artificialmente):</b> acionamento do sistema com 22° para aquecimento e 24° para resfriamento.                                                                       |
| Características das Paredes e Coberturas |                 | Nove composições diferentes para coberturas e nove para paredes                                                                                                                            | Paredes e coberturas foram simuladas com apenas uma composição cada                                                                                                                               |
| Características do vidro                 |                 | Simples (3mm) de ZB3 a ZB8 e duplo para ZB1 e ZB2                                                                                                                                          | Simples (3mm) para todas as Zonas – padrão comparativo                                                                                                                                            |
| Área de ventilação e área envidraçada    |                 | <b>Área de janela - Modelo Base:</b> variação de 15% e 25% da área do piso do ambiente. <b>Área de janela-Modelo pé direito duplo:</b> variação de 22,5% e 71%. <b>Área de ventilação:</b> | <b>Dormitório - área de janela</b> foi de 15% da área do piso. <b>Estar – área de janela</b> foi de 25% da área do piso. <b>Área ventilação:</b> 45% da área de janela do ambiente                |

|                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                     | 50% e 100% da área de janela do ambiente                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Sombreamento</b> | <b>Veneziana externa</b> acionada durante o período de sombreamento de 21 de setembro a 20 de março (no horário das 8h as 18h), compreendendo a primavera e o verão para as Zonas Bioclimáticas 1 a 4. Para as Zonas Bioclimáticas 6 a 8 o período de sombreamento e o ano inteiro, no horário das 8h as 18h. | <b>Dispositivos de proteção: L23</b> (dimensionado de acordo com o método das latitudes do RTQ-R), PTI (dispositivo de proteção solar Inteiro) e PTF (dispositivos de proteção solar filetado), TN (dimensionado de acordo com o método de temperatura média, presente no Anexo 1 do RTQ-R), V45 (Veneziana com duas folhas de correr, estando uma folha aberta), V90 (Veneziana que permite abertura total) e VRTQ-R (Veneziana igual à simulada pelo RTQ-R). |

### 3.4. SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

Para desenvolvimento das simulações, foi feita a identificação dos modelos a partir de uma nomenclatura específica para definição das variáveis conforme apresentado na Tabela 20.

Tabela 20 Nomenclatura adotada para definição dos modelos

| ZONAS BIOCLIMÁTICAS X CIDADES REFERÊNCIAS |                                                                                                                                 |
|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ZB1                                       | Curitiba - PR                                                                                                                   |
| ZB2                                       | Santa Maria - RS                                                                                                                |
| ZB3                                       | Florianópolis - SC                                                                                                              |
| ZB4                                       | Brasília -DF                                                                                                                    |
| ZB6                                       | Campo Grande - MS                                                                                                               |
| ZB7                                       | Cuiabá - MT                                                                                                                     |
| ZB8                                       | Salvador - BA                                                                                                                   |
| VARIAÇÕES DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO SOLAR  |                                                                                                                                 |
| SP                                        | Sem proteção                                                                                                                    |
| VRTQR                                     | Protótipo com veneziana definida de acordo com o modelo adotado para a elaboração do RTQ-R                                      |
| L23                                       | Protótipo com dispositivos de proteção solar horizontais definidos pelo método das latitudes do RTQ-R                           |
| TN                                        | Protótipo com dispositivos de proteção solar segundo o método do Anexo 1 do RTQ-R (TN)                                          |
| V90                                       | Protótipo com veneziana com abertura completa                                                                                   |
| V45                                       | Protótipo com veneziana com abertura de até 45% da área da janela                                                               |
| PTI                                       | Protótipo com dispositivo de proteção solar para sombreamento das 7h40 às 16h20 (70% das horas de insolação) – Placas inteiras  |
| PTF                                       | Protótipo com dispositivo de proteção solar para sombreamento das 7h40 às 16h20 (70% das horas de insolação) – Placas filetadas |
| CONDICIONAMENTO                           |                                                                                                                                 |
| Art                                       | Dormitórios condicionados artificialmente                                                                                       |
| Nat                                       | Ambientes de estar e dormitórios condicionados naturalmente                                                                     |
| ORIENTAÇÃO SOLAR                          |                                                                                                                                 |
| N                                         | Norte                                                                                                                           |
| S                                         | Sul                                                                                                                             |
| L                                         | Leste                                                                                                                           |
| O                                         | Oeste                                                                                                                           |

#### 3.4.1. Simulação computacional de iluminação

Nas simulações do *software Daysim*, foi utilizado o *software SketchUp* para compor e importar os modelos para o programa em formato \*.3ds.

Após a simulação, o *Daysim* produz um relatório com valores métricos para cada ponto da malha de sensores adotada. Neste estudo, utilizou-se a métrica de Autonomia de Luz Natural (*Daylight Autonomy*) para verificar o atendimento ao nível mínimo de iluminância proveniente da luz natural exigido pela NBR 5413 (ABNT, 1992) – 100 lux para ambientes de estar e dormitório.

A malha de sensores, contudo, foi localizada de acordo com o projeto luminotécnico, a fim de se verificar a necessidade ou não do acionamento das luminárias projetadas. Para o ambiente de dormitório, foi utilizado um sensor, localizado no centro do ambiente. Já para o ambiente de estar foram utilizados dois sensores localizados no eixo longitudinal central do ambiente (Figura 35 e Figura 36).

A altura dos sensores para avaliação do nível de iluminância no plano de trabalho foi determinada a partir de recomendações da IESNA (*Illuminating Engineering Society of North America*) que diz que:

“O plano de trabalho é o plano no qual uma tarefa visual geralmente é feita, e em que a iluminação é especificada e medida. Salvo indicação em contrário, isto é assumido como sendo um plano horizontal a 0,76 m acima do piso” (IESNA 2000).

As simulações de iluminação natural foram feitas por tipo e ambiente, por orientação solar e por tipo de dispositivo de proteção. A rotina de acionamento das venezianas (V90 e V45) foi definida pelo modelo de sombreamento dinâmico, no qual o *Daysim* utiliza um modelo simplificado para considerar o efeito de um sistema de veneziana genérico. Este modelo prevê o acionamento das venezianas quando há um brilho excessivo no plano de trabalho ou quando há valores de insolação direta acima de  $50\text{W/m}^2$ . Esta sensibilidade é calculada por um programa auxiliar do *Daysim* chamado *gen\_directsunlight*, que prevê a cada época do ano o aparecimento de brilho excessivo

no plano de trabalho.

Os modelos de sombreamento estático como L23, TN, PTI e PTF foram definidos no *Skecthup* como parte do modelo 3D. Para o modelo de veneziana VRTQR a rotina de acionamento das venezianas foi definida de acordo com a época do ano conforme exposto por LABEEE (2011b).

#### 3.4.2. Simulação computacional termoenergética

As simulações termoenergéticas foram realizadas com o uso do *software EnergyPlus* versão 7.2. Para os dados de entrada do programa de simulação foram utilizadas as características construtivas, de uso e ocupação dos modelos e o relatório do controle de iluminação artificial obtido na simulação de iluminação (arquivo \*.csv). Os modelos foram variados de acordo com o condicionamento no caso do ambiente de dormitório, combinados com a orientação solar das aberturas e variação dos dispositivos de sombreamento.

### 3.5. PROCESSAMENTO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A discussão de resultados foi dividida em etapas para possibilitar uma análise detalhada em cada ponto levantado. Foi criada uma base de dados para as sete Zonas Bioclimáticas e para as quatro orientações apresentadas, e, a partir desta base, foram retiradas informações relativas ao dimensionamento de dispositivos de proteção solar, desempenho de iluminação natural e desempenho termoenergético dos modelos. A compilação destas informações possibilitou uma análise crítica dos métodos de avaliação quanto à presença de sombreamento em aberturas no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética para Edificações Residenciais (RTQ-R).

#### 3.5.1. Dimensionamento dos dispositivos

Após a construção das máscaras de proteção dos dispositivos de sombreamento e estimadas suas dimensões, foram determinados os ângulos de sombreamento. Estes foram tabulados em um quadro, a fim de que se possa facilitar a comparação entre os

modelos. Os resultados quanto ao acionamento das venezianas gerados pelo *Daysim* foram comparados de forma gráfica. Esta rotina de acionamento foi exportada para o *Energy Plus* e considerada nas simulações termo energéticas.

### 3.5.2. Análise de Iluminação Natural

Esta etapa será dividida em duas sub etapas, sendo a primeira relativa ao sistema de acionamento estudado. Conforme destacado no item 0 deste capítulo, o uso de dois tipos de sensores (Sensor-Usuário e Sensor-Automatizado) permitiu uma análise crítica quanto ao desempenho dos dispositivos de proteção e consumo de energia do sistema artificial nos modelos. Este resultado foi avaliado a partir de um gráfico da média de consumo de energia para cada sistema.

Na segunda sub etapa, foi avaliado o acionamento do sistema de iluminação artificial. As simulações de iluminação natural fornecem valores de rotina de acionamento das luminárias. Estes valores, quando revertidos em forma gráfica, permitiram uma análise comparativa entre os resultados dos diferentes modelos. As rotinas de acionamento são exportadas para o *Energy Plus* para análises de cargas relativas ao sistema de iluminação artificial.

### 3.5.3. Análise de desempenho Térmico

As simulações termoenergéticas tiveram como objetivo estimar o desempenho térmico de cada modelo com o uso dos diferentes dispositivos de proteção solar. Para verificar o desempenho de ambientes condicionados naturalmente, foram solicitados dados de saída das simulações relativos à sua temperatura operativa. Foram gerados indicadores de graus-hora de resfriamento e aquecimento para cada modelo, em cada Zona Bioclimática e orientações solares estudadas.

O parâmetro graus-hora de resfriamento ( $GH_R$ ) é determinado como a somatória da diferença da temperatura horária, quando esta se encontra superior à temperatura de base, no caso de resfriamento. Os Graus-hora de aquecimento ( $GH_A$ ) são determinados pela somatória da diferença da temperatura operativa horária, quando esta se

encontra inferior a temperatura de base.

Os graus-hora geralmente são calculados para as temperaturas do ar, porém, a quantidade de graus-hora, neste trabalho, será indicada para as temperaturas operativas. A temperatura operativa foi calculada conforme LABEEE (2011b), cujos limites de conforto para a temperatura operativa foram obtidos a partir dos critérios da ISO 7730/2005 para atividades leves ( $70\text{W/m}^2$ ). Para as condições de verão, período de resfriamento, foi considerado isolamento térmico das roupas de 0,5 clo e a temperatura operativa entre  $23^\circ\text{C}$  e  $26^\circ\text{C}$ . Para as condições de inverno, período de aquecimento, foi considerado isolamento térmico das roupas de 1,2 clo e temperatura operativa entre  $18^\circ\text{C}$  e  $22^\circ\text{C}$ . Sendo assim, a temperatura base para o cálculo de graus-hora de resfriamento foi de  $26^\circ\text{C}$  e a temperatura base para o cálculo de graus-hora de aquecimento foi de  $18^\circ\text{C}$ .

O modelo sem sombreamento (SP) foi caracterizado como caso base para comparação. Foi determinado um caso base para cada orientação solar e Zona Bioclimática. A partir de cada caso base foram geradas percentuais de ganho ou diminuição de graus-hora, ora de resfriamento ora de aquecimento. Estes percentuais gerados a partir da diferença entre os graus-hora  $\text{Graus-hora}_{\text{Resf+Aquec}}$  do modelo avaliado e os graus-hora  $\text{Graus-hora}_{\text{Resf+Aquec}}$  do modelo sem proteção e dividido pelos graus-hora  $\text{Graus-hora}_{\text{Resf+Aquec}}$  resultante do modelo sem proteção, de acordo com a seguinte equação:

$$\text{GH}(\%) = \frac{(\text{Graus-hora}_{\text{Resf SP}} - \text{Graus-hora}_{\text{Resf Proteção}}) + (\text{Graus-hora}_{\text{Aquec SP}} - \text{Graus-hora}_{\text{Aquec Proteção}})}{\text{Graus-hora}_{\text{Resf+Aquec\_SP}}}$$

Equação 11 Cálculo da porcentagem de graus-hora em relação ao modelo base (SP)

Os resultados percentuais relativos ao desempenho dos modelos foram determinados a partir de uma média aritmética entre os casos dos ambientes condicionados naturalmente dormitório e estar. Esta média permite estimar um desempenho intermediário entre um ambiente profundo (estar) e pouco profundo (dormitório).

Os resultados foram tabulados e gráficos comparativos entre os modelos gerados. Estes gráficos foram divididos em Zonas Bioclimáticas e tipologia de dispositivos.

### 3.5.1. Análise de consumo de energia

De uma forma semelhante às análises quanto ao desempenho térmico, foi avaliado o desempenho quanto ao consumo energia dos ambientes condicionados artificialmente (dormitório). Foram solicitadas saídas quanto ao consumo de energia dos sistemas de condicionamento de ar, sistema de iluminação e equipamentos. O consumo do sistema de condicionamento de ar está dividido entre consumo da máquina para aquecimento e resfriamento e o consumo dos ventiladores. Estes valores foram somados e comparados ao modelo sem proteção (SP) a fim de se gerar uma base comparativa e facilitar uma avaliação única do desempenho do ambiente.

Os resultados foram tabulados e gráficos comparativos entre os modelos gerados. Estes gráficos foram divididos por Zonas Bioclimáticas e por tipologia de dispositivos.

### 3.5.2. Discussão sobre a avaliação da presença de sombreamento em aberturas no RTQ-R

Nesta etapa, foi discutido o sistema de avaliação quanto à presença de sombreamento no RTQ-R juntamente com os resultados encontrados nas etapas anteriores. São discutidas alterações quanto ao peso destes modelos na avaliação pelo regulamento.

#### **4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS**

Este capítulo apresenta os resultados e análises obtidos durante a pesquisa a partir da aplicação da metodologia proposta no capítulo anterior. Primeiramente foram apresentados os resultados referentes ao dimensionamento dos dispositivos de proteção solar e acionamento das venezianas. Os ângulos foram tabulados e as rotinas de acionamento das venezianas apresentadas graficamente para permitir maior facilidade de comparação.

Após o dimensionamento dos dispositivos e construção dos modelos, foi realizado um breve estudo sobre o tipo de acionamento do sistema de iluminação artificial utilizado nas análises dos resultados (Sensor-Automatizado e Sensor-Usuário). Em seguida, foi analisado o comportamento da luz natural nos diferentes modelos estudados por meio da necessidade de acionamento da iluminação artificial.

Logo, foram apresentados os resultados das simulações termoeenergéticas e realizada uma avaliação comparativa do comportamento térmico dos modelos ventilados naturalmente com proteção solar em relação ao modelo sem proteção. Concluída esta etapa, foram apresentados os desempenhos dos modelos condicionados artificialmente e discutidas considerações acerca do comportamento de consumo de energia para condicionamento e iluminação artificial. Para finalizar, foram feitas comparações e discussões dos resultados em relação ao Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética para Edificações Residenciais (RTQ-R).

##### **4.1. DIMENSIONAMENTO DOS DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO SOLAR**

Os dispositivos de proteção foram dimensionados de acordo com os métodos apresentados no item 3.2. A Tabela 21 apresenta os ângulos de sombreamento determinados para cada orientação e zoneamento bioclimático de acordo com cada método de dimensionamento de dispositivos. Foram representadas máscaras solares para a Zona Bioclimática 8, como exemplo, a fim de facilitar o entendimento do dimensionamento dos dispositivos na Tabela 22. Observa-se que o sombreamento obtido para obtenção de pontuação máxima em cada método apresenta grande

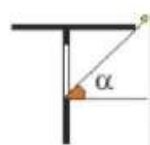
diferença de dimensionamento dos elementos de proteção. O método L23, como descrito no capítulo anterior, especifica a presença apenas de placas horizontais de sombreamento dimensionadas a partir de equações que consideram valores da latitude para o cálculo dos ângulos de sombreamento e são limitados a 45° ou a 23,5° +/- latitude. Já o dimensionamento pelo método TN admite mais de uma opção de placas horizontais e verticais que compõem as exigências de sombreamento em períodos com temperatura neutra acrescida de 3 graus. Estes ângulos são disponibilizados junto ao anexo 1 do RTQ-R. O método utilizado para dimensionamento dos dispositivos PTI e PTF prevê também a utilização de placas horizontais e verticais dimensionadas para sombrear a abertura no período de horas de disponibilidade de luz natural útil (7h40 às 16h20), conforme definido no item 3.1.3 do capítulo anterior.

Tabela 21 Quadro resumo do dimensionamento dos dispositivos de proteção solar do tipo TN ( Método Anexo 1 RTQ-R); L23(Método da Latitude RTQ-R) e PTI/PTF (Métodos para sombreamento das horas úteis de disponibilidade de luz natural).

| ZB1        |         |      |      |         |      |      |         |      |    |         |      |      |
|------------|---------|------|------|---------|------|------|---------|------|----|---------|------|------|
|            | Norte   |      |      | Sul     |      |      | Leste   |      |    | Oeste   |      |      |
|            | PTF/PTI | L23  | TN   | PTF/PTI | L23  | TN   | PTF/PTI | L23  | TN | PTF/PTI | L23  | TN   |
| $\alpha$   | 58.2    | 48.9 | -    | 21.3    | 48.9 | -    | 78.7    | 45.0 | -  | 78.7    | 45.0 | 75.0 |
| $\beta_d$  | 42.2    | -    | -    | 12.3    | -    | -    | -       | -    | -  | -       | -    | -    |
| $\beta_e$  | 42.2    | -    | -    | 12.3    | -    | -    | -       | -    | -  | -       | -    | -    |
| $\gamma_d$ | -       | 45.0 | -    | -       | 45.0 | -    | 24.0    | 48.9 | -  | 71.9    | 48.9 | 30.0 |
| $\gamma_e$ | -       | 45.0 | -    | -       | 45.0 | -    | 71.9    | 48.9 | -  | 24.0    | 48.9 | 30.0 |
| ZB2        |         |      |      |         |      |      |         |      |    |         |      |      |
|            | Norte   |      |      | Sul     |      |      | Leste   |      |    | Oeste   |      |      |
|            | PTF/PTI | L23  | TN   | PTF/PTI | L23  | TN   | PTF/PTI | L23  | TN | PTF/PTI | L23  | TN   |
| $\alpha$   | 61.4    | 53.2 | 35.0 | 17.0    | 53.2 | -    | 80.7    | 45.0 | -  | 80.7    | 45.0 | 75.0 |
| $\beta_d$  | 45.9    | -    | -    | 9.8     | -    | 20.0 | -       | -    | -  | -       | -    | -    |
| $\beta_e$  | 45.9    | -    | -    | 9.8     | -    | -    | -       | -    | -  | -       | -    | -    |
| $\gamma_d$ | -       | 45.0 | 10.0 | -       | 45.0 | 35.0 | 17.0    | 53.2 | -  | 75.6    | 53.2 | 30.0 |
| $\gamma_e$ | -       | 45.0 | 65.0 | -       | 45.0 | -    | 75.6    | 53.2 | -  | 17.0    | 53.2 | 30.0 |
| ZB3        |         |      |      |         |      |      |         |      |    |         |      |      |
|            | Norte   |      |      | Sul     |      |      | Leste   |      |    | Oeste   |      |      |
|            | PTF/PTI | L23  | TN   | PTF/PTI | L23  | TN   | PTF/PTI | L23  | TN | PTF/PTI | L23  | TN   |
| $\alpha$   | 59.9    | 51.1 | -    | 16.1    | 51.1 | -    | 78.7    | 45.0 | -  | 78.7    | 45.0 | 75.0 |
| $\beta_d$  | 44.1    | -    | -    | 9.2     | -    | -    | -       | -    | -  | -       | -    | -    |
| $\beta_e$  | 44.1    | -    | -    | 9.2     | -    | -    | -       | -    | -  | -       | -    | -    |

|            |         |      |      |         |      |      |         |      |      |         |      |      |
|------------|---------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|
| $\gamma_d$ | -       | 45.0 | -    | -       | 45.0 | -    | 15.8    | 51.1 | -    | 72.8    | 23.5 | 30.0 |
| $\gamma_e$ | -       | 45.0 | -    | -       | 45.0 | -    | 72.8    | 51.1 | -    | 15.8    | 23.5 | 30.0 |
| ZB4        |         |      |      |         |      |      |         |      |      |         |      |      |
|            | Norte   |      |      | Sul     |      |      | Leste   |      |      | Oeste   |      |      |
|            | PTF/PTI | L23  | TN   | PTF/PTI | L23  | TN   | PTF/PTI | L23  | TN   | PTF/PTI | L23  | TN   |
| $\alpha$   | 52.0    | 39.3 | 20.0 | 27.8    | 39.3 | 10.0 | 72.5    | 45.0 | 65.0 | 72.5    | 45.0 | 75.0 |
| $\beta_d$  | 35.7    | -    | -    | 16.5    | -    | 10.0 | -       | -    | -    | -       | -    | -    |
| $\beta_e$  | 35.7    | -    | 20.0 | 16.5    | -    | -    | -       | -    | -    | -       | -    | -    |
| $\gamma_d$ | -       | 45.0 | -    | -       | 45.0 | -    | 27.8    | 39.3 | 30.0 | 61.4    | 39.3 | 30.0 |
| $\gamma_e$ | -       | 45.0 | -    | -       | 45.0 | -    | 61.4    | 39.3 | 30.0 | 27.8    | 39.3 | 30.0 |
| ZB6        |         |      |      |         |      |      |         |      |      |         |      |      |
|            | Norte   |      |      | Sul     |      |      | Leste   |      |      | Oeste   |      |      |
|            | PTF/PTI | L23  | TN   | PTF/PTI | L23  | TN   | PTF/PTI | L23  | TN   | PTF/PTI | L23  | TN   |
| $\alpha$   | 55.3    | 43.9 | 50.0 | 22.6    | 43.9 | 10.0 | 75.6    | 45.0 | 75.0 | 75.6    | 45.0 | 75.0 |
| $\beta_d$  | 39.1    | -    | -    | 13.2    | -    | 25.0 | -       | -    | -    | -       | -    | -    |
| $\beta_e$  | 39.1    | -    | 25.0 | 13.2    | -    | -    | -       | -    | -    | -       | -    | -    |
| $\gamma_d$ | -       | 45.0 | 10.0 | -       | 45.0 | -    | 23.2    | 43.9 | 30.0 | 66.8    | 43.9 | 60.0 |
| $\gamma_e$ | -       | 45.0 | -    | -       | 45.0 | 10.0 | 66.8    | 43.9 | 30.0 | 23.2    | 43.9 | 40.0 |
| ZB7        |         |      |      |         |      |      |         |      |      |         |      |      |
|            | Norte   |      |      | Sul     |      |      | Leste   |      |      | Oeste   |      |      |
|            | PTF/PTI | L23  | TN   | PTF/PTI | L23  | TN   | PTF/PTI | L23  | TN   | PTF/PTI | L23  | TN   |
| $\alpha$   | 52.0    | 39.1 | 45.0 | 31.4    | 39.1 | 10.0 | 73.3    | 45.0 | 65.0 | 73.3    | 45.0 | 75.0 |
| $\beta_d$  | 35.7    | -    | -    | 19.0    | -    | 25.0 | -       | -    | -    | -       | -    | -    |
| $\beta_e$  | 35.7    | -    | 30.0 | 19.0    | -    | -    | -       | -    | -    | -       | -    | -    |
| $\gamma_d$ | -       | 45.0 | 40.0 | -       | 45.0 | -    | 31.4    | 3.1  | 30.0 | 62.1    | 39.1 | 50.0 |
| $\gamma_e$ | -       | 45.0 | -    | -       | 45.0 | 40.0 | 62.1    | 39.1 | 40.0 | 31.4    | 39.1 | 40.0 |
| ZB8        |         |      |      |         |      |      |         |      |      |         |      |      |
|            | Norte   |      |      | Sul     |      |      | Leste   |      |      | Oeste   |      |      |
|            | PTF/PTI | L23  | TN   | PTF/PTI | L23  | TN   | PTF/PTI | L23  | TN   | PTF/PTI | L23  | TN   |
| $\alpha$   | 50.1    | 36.5 | 30.0 | 32.6    | 36.5 | 10.0 | 70.9    | 45.0 | 75.0 | 70.9    | 45.0 | 75.0 |
| $\beta_d$  | 33.9    | -    | -    | 19.8    | -    | 2.0  | -       | -    | -    | -       | -    | -    |
| $\beta_e$  | 33.9    | -    | 25.0 | 19.8    | -    | -    | -       | -    | -    | -       | -    | -    |
| $\gamma_d$ | -       | 45.0 | 10.0 | -       | 45.0 | -    | 33.7    | 36.5 | 30.0 | 59.0    | 36.5 | 30.0 |
| $\gamma_e$ | -       | 45.0 | -    | -       | 45.0 | 10.0 | 59.0    | 36.5 | 40.0 | 33.7    | 36.5 | 35.0 |

Sendo:



Planta

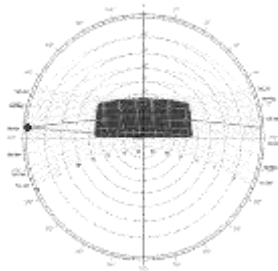
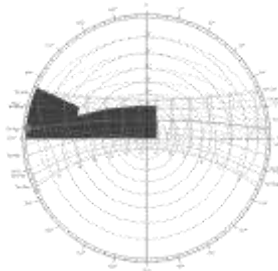
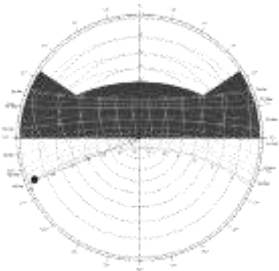
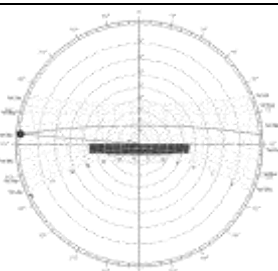
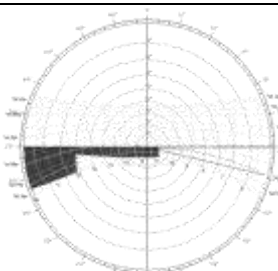
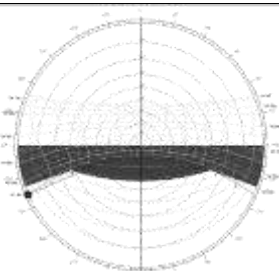
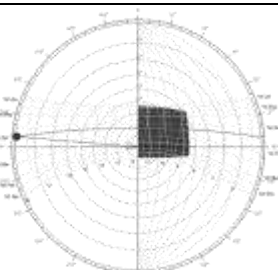
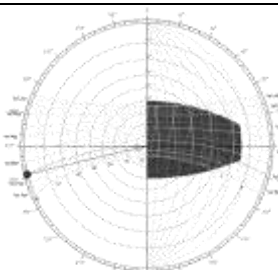
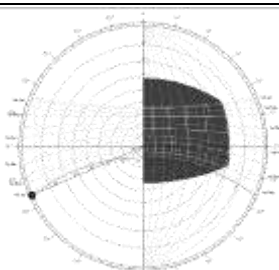
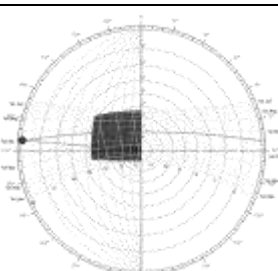
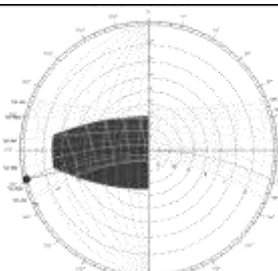
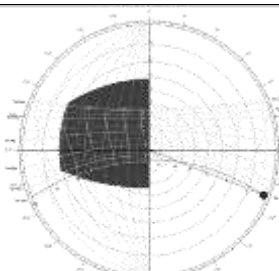


Corte



Fachada

Tabela 22 Exemplo de máscaras solares para aberturas com dispositivos de proteção solar do tipo TN (Método Anexo 1 RTQ-R); L23(Método da latitude RTQ-R) e PTI/PTF (Métodos para sombreamento das horas úteis de disponibilidade de luz natural), para a Zona Bioclimática 8(Salvador).

| Dispositivo<br>Orientação | L23                                                                                 | TN                                                                                   | PTI/PTF                                                                               |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Norte                     |    |    |    |
| Sul                       |    |    |    |
| Leste                     |   |   |   |
| Oeste                     |  |  |  |

Observa-se pelo que é demonstrado na Tabela 22 para ZB8 que, em geral, o método de sombreamento dos modelos PTI e PTF apresenta os maiores dimensionamentos. Em, seguida, o modelo TN e por último o modelo L23. Esta constatação pode ser notada para as demais zonas bioclimáticas.

Para o método TN, uma vez que apresenta mais de uma opção de sombreamento, foi

escolhida a opção que mais se aproximava à tipologia dos demais métodos, priorizando a escolha de ângulos  $\alpha$ . Observa-se que, por este método, não há previsão de sombreamento nas Zonas Bioclimáticas de 1 a 3 para as orientações norte, sul e leste.

O método L23 também não exige sombreamento para a orientação sul nas Zonas bioclimáticas de 1 a 3 e apresenta uma exigência de ângulo de  $45^\circ$  para orientações leste e oeste, para todas as Zonas Bioclimáticas para pontuação máxima. Contudo, se comparamos a exigência de sombreamento pelos demais métodos para as orientações leste e oeste em todas as Zonas Bioclimáticas, observamos que há uma discrepância no dimensionamento dos ângulos de proteção. Os demais métodos apresentam ângulos de  $75^\circ$  a  $80^\circ$  para os elementos para estas orientações.

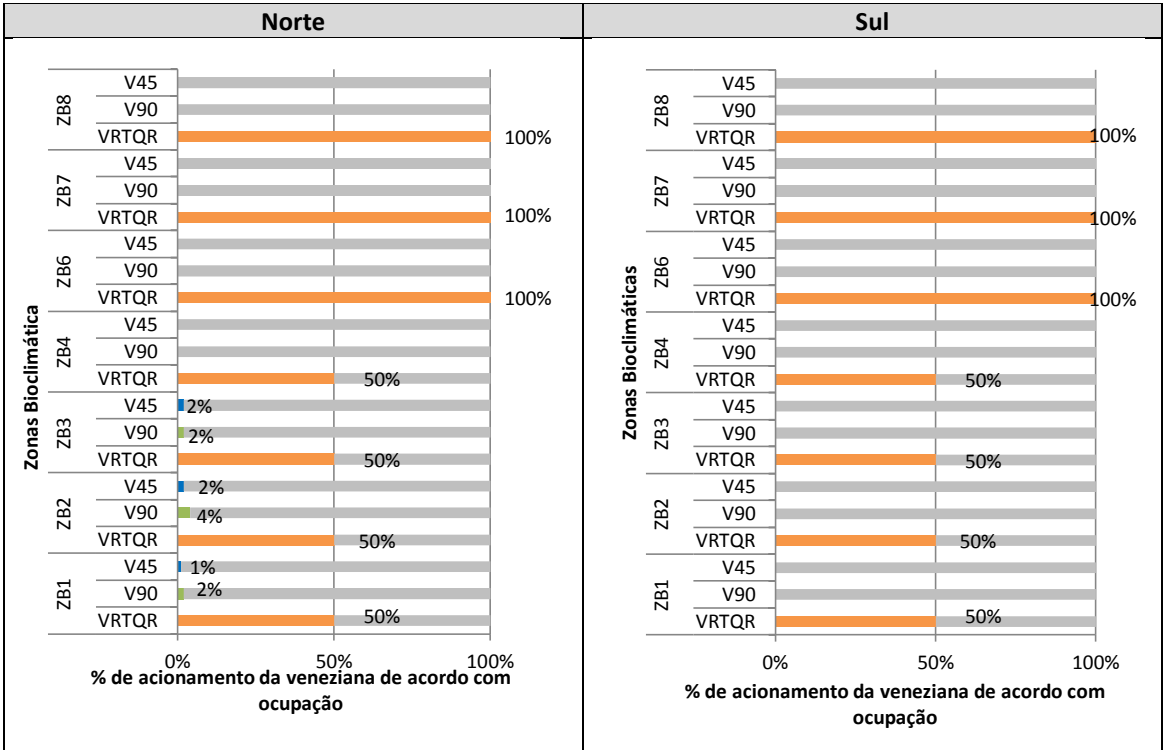
Com relação aos modelos de uso das venezianas é importante notar que a partir da variação da rotina de acionamento varia-se também as horas de proteção da abertura. A veneziana VRTQR é um modelo de venezianas as quais são abertas apenas durante o verão para as Zonas Bioclimáticas de 1 a 4 e durante todo o ano para as Zonas 5 a 8, conforme descrito pelo relatório de Sorgato (2012). Este modelo foi utilizado para elaboração das equações do método prescritivo do RTQ-R e reproduzido nesta pesquisa com intuito de ponderar o valor dos demais elementos em relação a veneziana na pontuação da presença de sombreamento pelo RTQ-R. Porém é importante considerar que este modelo pouco representa um comportamento de acionamento de venezianas por usuários. Os usuários tendem a abrir as venezianas durante a ocupação do ambiente e fechá-las apenas quando há desconforto por calor/radiação solar (REINHART; VOSS, , 2003).

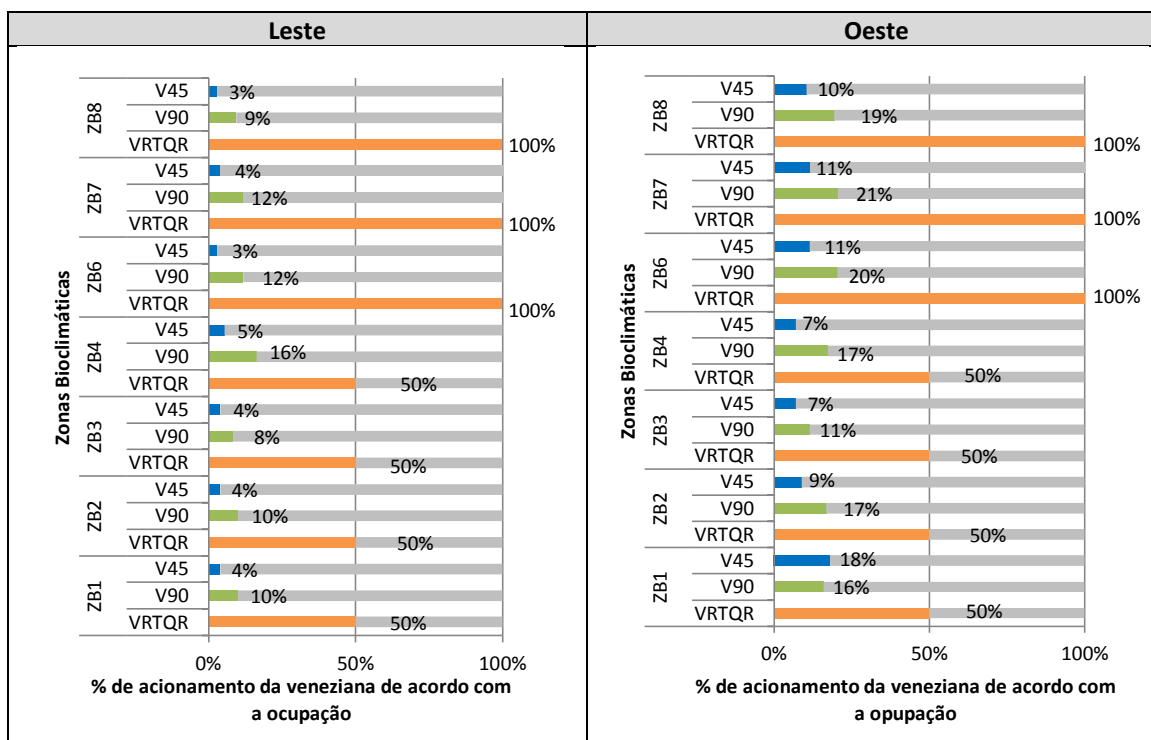
Observa-se que as venezianas V90 e V45 refletem um comportamento mais próximo da necessidade de sombreamento do que a veneziana VRTQR, já que são acionadas de acordo com os níveis de iluminância no ambiente interno. Este acionamento é baseado em constatações de pesquisas realizadas em campo e relatadas anteriormente, que afirmam que quando há um brilho excessivo no plano de trabalho ou quando há com valores de insolação direta acima de  $50\text{W/m}^2$  os usuários tendem a acionar as

venezianas. Este modelo de acionamento é definido pelo software *Daysim* a partir de um algoritmo chamado *lighthswitch*, conforme apresentado no item 2.4.2.

Entretanto, cabe observar que os acionamentos previstos pelos modelos V45 e V90 representam um usuário “idealizado”. Pesquisas citadas no item 2.4.1 da revisão bibliográfica, concluem que o usuário tende a acionar as venezianas uma vez ao dia quando sentem desconforto e ela é mantida daquela maneira durante todo o período de ocupação. É importante destacar também que a veneziana V45 é caracterizada pela presença de uma folha sempre fechada apresentando apenas metade da área de abertura para iluminação em relação aos demais modelos.

Figura 57 Resultado comparativo da média de acionamento das venezianas do tipo VRTQR (veneziana com acionamento no período de verão para as Zonas 1 a 4 e sempre acionada para as demais Zonas); V45 (área de abertura para iluminação de 45%) e V90 (abertura máxima para iluminação); para todas as Zonas Bioclimáticas avaliadas.





Observando os resultados de acionamento das venezianas (Figura 57), nota-se que quando acionadas as venezianas, o acionamento para a veneziana V90 é, aproximadamente, o dobro das horas de acionamento da veneziana V45. Pode-se concluir que esta proporção está diretamente relacionada à área de abertura sujeita ao sombreamento móvel. A área de abertura da veneziana V90 é um pouco maior que o dobro da área de abertura da veneziana V45, o que justifica os resultados encontrados.

Pelos resultados gerais, percebe-se que as venezianas V90 e V45 apresentaram pouco ou nenhum acionamento para todas as Zonas e orientações. Apenas para a orientação oeste, percebe-se um acionamento maior, alcançando valores de até 21% das horas ocupadas. Para sul, apenas o modelo VRTQR apresentou acionamento nas horas ocupadas.

Estes resultados podem ser justificados pelo fato de o sensor de acionamento das venezianas estar localizado junto ao sensor de acionamento das luminárias e, portanto, longe da abertura. Assim, o sensor é pouco atingido pela insolação direta e brilhos excessivos.

## 4.2. ILUMINAÇÃO NATURAL

### 4.2.1. Sistema de Acionamento da Iluminação Artificial

Com o intuito de demonstrar a influência do comportamento do usuário e dos sistemas de iluminação artificial, foram realizadas simulações com dois sistemas distintos conforme descrito no item 0 da metodologia. Foram avaliadas as quatro orientações (norte, sul, leste e oeste) para a Zona Bioclimática 3 (Florianópolis). Esta etapa foi proposta com o intuito de identificar qual sistema de acionamento demonstra a melhor maneira de se identificar o potencial de economia de energia com o uso de dispositivos de proteção solar em aberturas. Os sistemas analisados foram os sistemas denominados nesta pesquisa como Sensor-Usuário e Sensor-Automatizado. Conforme descrito na revisão bibliográfica, o algoritmo Ligthswitch é caracterizado por seis tipos de sistemas. Para entender melhor cada sistema, foi feito um ensaio em cada um deles e levantadas as seguintes características:

- **Manual on/off near the door.** Representa o acionamento típico de interruptor manual de acionamento *on/off* próximo a porta. Este acionamento para ambos os tipos de usuário se dá uma vez ao dia. O usuário ativo aciona quando o nível de iluminância no plano de trabalho é insuficiente e permanece com o sistema acionado durante todo o período de ocupação. Já o usuário passivo aciona o interruptor ao chegar ao ambiente e mantém desta maneira em todo o período de ocupação.
- **Switch Off occupancy sensor.** Trata-se de um modelo que considera o acionamento manual pelo usuário ao ocupar o ambiente conjugado ao desligamento por um sensor de presença. O usuário ativo aciona o interruptor quando o nível de iluminância no plano de trabalho é insuficiente e o sensor de ocupação desliga o sistema quando o usuário deixa o ambiente. Já o usuário passivo aciona o interruptor ao chegar ao ambiente e o sensor de ocupação desliga o sistema quando o usuário deixa o local.
- **Switch On/Off occupancy sensor.** Este modelo vincula o acionamento e o desligamento do sistema de iluminação à ocupação do ambiente. Não há

diferenciação entre o usuário ativo e passivo.

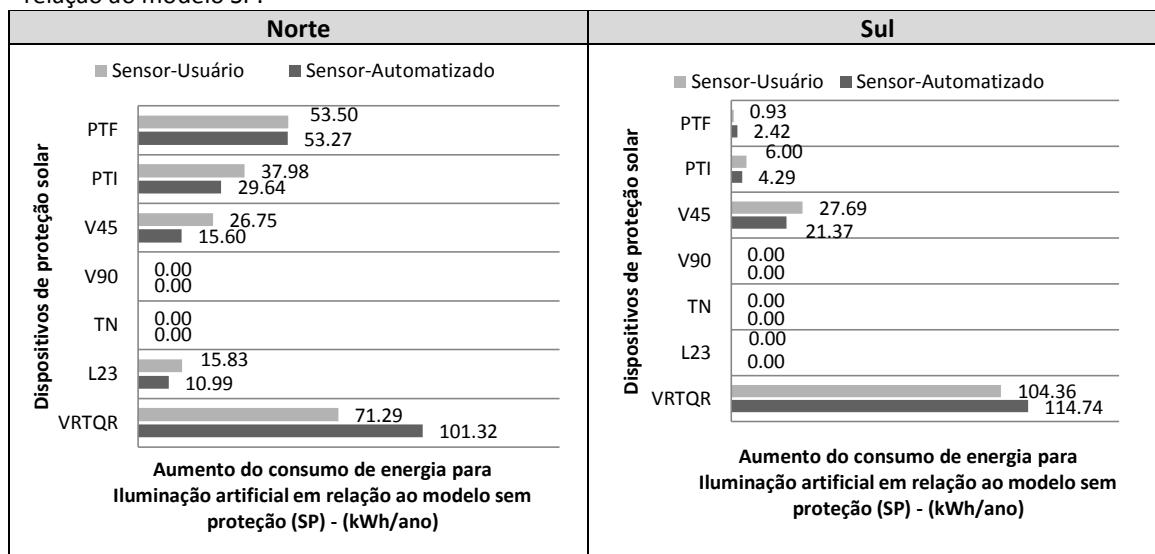
- ***Photosensor controlled dimming system.*** Trata-se de um modelo automatizado que aciona o sistema pela primeira vez durante a ocupação quando há um baixo nível de iluminância no plano de trabalho. O acionamento se dá de forma dimerizada e complementar ao nível de iluminância existente, ou seja, complementando o nível de iluminância fornecido pela luz natural. Neste sistema é prevista também uma situação de esquecimento por parte do usuário quanto ao desligamento do sistema ao deixar o ambiente. A ocorrência desta situação foi estimada pelo *ligthswitch* baseado em estudos anteriores. Não há diferenciação entre o usuário ativo e passivo.
- ***Combination switch off occupancy and dimming sensor.*** Modelo que considera o acionamento inicial manual pelo usuário ao ocupar o ambiente, conjugado à ativação dimerizável pelo fotosensor durante a estadia e o desligamento automatizado quando o usuário deixa o ambiente. O usuário ativo aciona o interruptor pela primeira vez quando o nível de iluminância no plano de trabalho é insuficiente. Já o usuário passivo aciona o interruptor ao chegar ao ambiente.
- ***Combination on/off occupancy and dimming system.*** Trata-se de um modelo automatizado que vincula o acionamento e desligamento da iluminação artificial à ocupação pelo usuário. O sistema fica disponível para dimerização durante todo o período de ocupação. Não há diferenciação entre o usuário ativo e passivo.

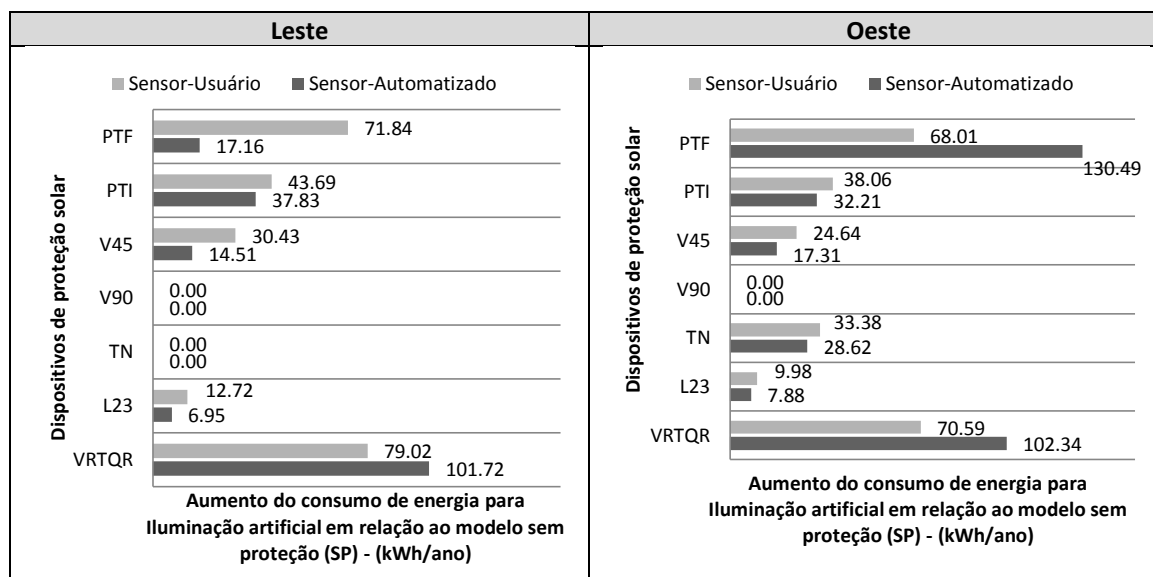
O Sensor-Usuário foi definido pelo sistema *switch off occupancy* e considera o comportamento de um usuário que aciona o sistema de iluminação uma vez ao dia, apenas quando os níveis de iluminação estão abaixo do determinado. Como descrito, neste sensor a iluminação é desligada automaticamente quando não há ocupação. Já o modelo Sensor-Automatizado, foi definido pelo modelo *combination on/off and dimming system* e considera os resultados de automatização por fotosensor em que a iluminação é acionada ou desligada de acordo com os níveis de iluminância definidos. Os resultados apresentados constiuem uma média de resultados para ambientes

profundos (estar) e pouco profundos (dormitório).

A partir dos resultados apresentados na Figura 58 pode-se notar que o sistema Sensor-Automatizado apresenta maior diferença quanto ao aumento no consumo de energia para iluminação artificial que o sistema Sensor-Usuário. Este aumento no consumo foi calculado a partir da diferença entre o consumo de energia para iluminação artificial dos modelos com dispositivos de proteção solar em relação ao modelo sem proteção.

Figura 58 Aumento no consumo de energia para iluminação artificial dos sistemas Sensor-Automatizado e Sensor-Usuário com o uso de dispositivos de proteção solar do tipo VRTQR (Veneziana com acionamento no período de verão para as Zonas 1 a 4 e sempre acionada para as demais Zonas); L23(Dispositivo de proteção externo horizontal dimensionado de acordo com RTQ-R – Método das Latitudes); Venezianas do tipo V45 (área de abertura para iluminação de 45%) e V90 (Abertura máxima para iluminação); Dispositivos externos PTI (Placas inteiras) e PTF (Placas filetadas) dimensionados para sombrear o período de luz natural útil – 7h40 às 16h20 - para a Zona Bioclimática 3 (Florianópolis) em relação ao modelo SP.





É interessante observar que, como o método de sombreamento de TN não apresentou exigência de sombreamento para as orientações norte, sul e leste, não houve alteração quanto ao consumo de energia para iluminação artificial quando comparado ao modelo sem proteção (SP). O modelo L23 para sul, também por não apresentar exigência de sombreamento, se comporta da mesma maneira. Além destes, o modelo V90, uma vez que apresenta a mesma área para iluminação natural que o modelo sem proteção e seu acionamento está condicionado à presença de ofuscamento no plano de trabalho ( $DGP > 0.4$ ) ou radiações acima  $50W/m^2$ , não apresentou a necessidade de acionamento durante o período de ocupação dos ambientes simulados para esta Zona, em nenhuma orientação. Dessa forma, também não apresentou alteração no consumo de energia para iluminação em relação ao modelo sem proteção.

Ao observar os desempenhos dos dispositivos com necessidade de sombreamento, observa-se que os modelos que apresentam um dimensionamento dos elementos de proteção mais robustos provocam maior escurecimento no ambiente. O escurecimento, consequentemente, resulta em mais horas de acionamento do sistema de iluminação natural. Desta forma, o sistema Sensor-Automatizado, o qual apresenta a característica de ativação variável durante o dia, resulta em maior consumo de energia que o Sensor-Usuário, uma vez que o gasto para ativação do sistema supera os gastos previstos de manutenção do sistema ativado. Já nos modelos de sombreamento em que há maior constância da luz natural no ambiente, nota-se que a automação

minimiza o consumo relativo à iluminação artificial.

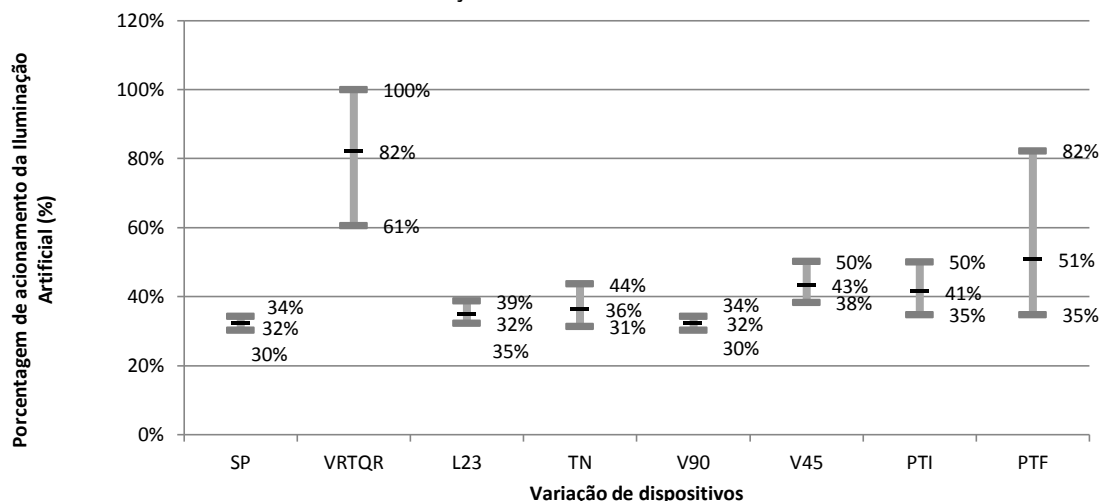
Conclui-se então que ainda que o Sensor-Usuário demonstre uma situação mais próxima ao real comportamento do usuário, o Sensor-Automatizado permite uma visualização horária mais apurada da necessidade de acionamento do sistema de iluminação artificial. Dessa forma, optou-se por utilizar o Sensor-Automatizado para as análises de desempenho dos dispositivos nas demais Zonas Bioclimáticas.

#### 4.2.2. Porcentagem de acionamento da Iluminação Artificial

Para investigação do impacto dos elementos de proteção no comportamento da iluminação natural no ambiente, foi calculada a porcentagem de horas de acionamento de luz artificial para os ambientes analisados para as quatro orientações solares e todas as Zonas Bioclimáticas. Foram simuladas 8760 horas e definidas a porcentagem de horas de acionamento para cada modelo de acordo com as horas de ocupação do ambiente definidas pela rotina apresentada no item 3.1.7 da metodologia. No ambiente de dormitório foram previstas 2975 horas de ocupação com potencial de acionamento da iluminação artificial, ou seja, horas em que os ocupantes não estão dormindo. Já no ambiente de estar são previstas 4380 horas de ocupação.

Observa-se nas figuras 58 a 62 a variação da porcentagem de horas com acionamento da iluminação artificial por modelo. Trata-se de uma média dos resultados de ambientes profundos (estar) e pouco profundos (dormitórios). Em geral, para o ambiente pouco profundo, o acionamento da iluminação artificial foi de aproximadamente metade das horas relativas ao acionamento para o ambiente profundo. Vale destacar que nos ambientes profundos o sensor considerado nesta análise está localizado junto à luminária mais distante da abertura para iluminação natural, a fim de se investigar a necessidade de acionamento da iluminação artificial no ambiente.

Figura 59 Porcentagem de horas de acionamento da iluminação artificial com o uso de dispositivos de proteção solar do tipo VRTQR (Veneziana com acionamento no período de verão para as Zonas 1 a 4 e sempre acionada para as demais Zonas); L23( Dispositivo de proteção externo horizontal dimensionado de acordo com RTQ-R – Método das latitudes); Venezianas do tipo V45 (área de abertura para iluminação de 45%) e V90 (Abertura máxima para iluminação); Dispositivos externos PTI (Placas inteiras) e PTF (Placas filetadas) dimensionados para sombrear o período de luz natural útil – 7h40 às 16h20 - para todas as Zonas Bioclimáticas e orientações solares

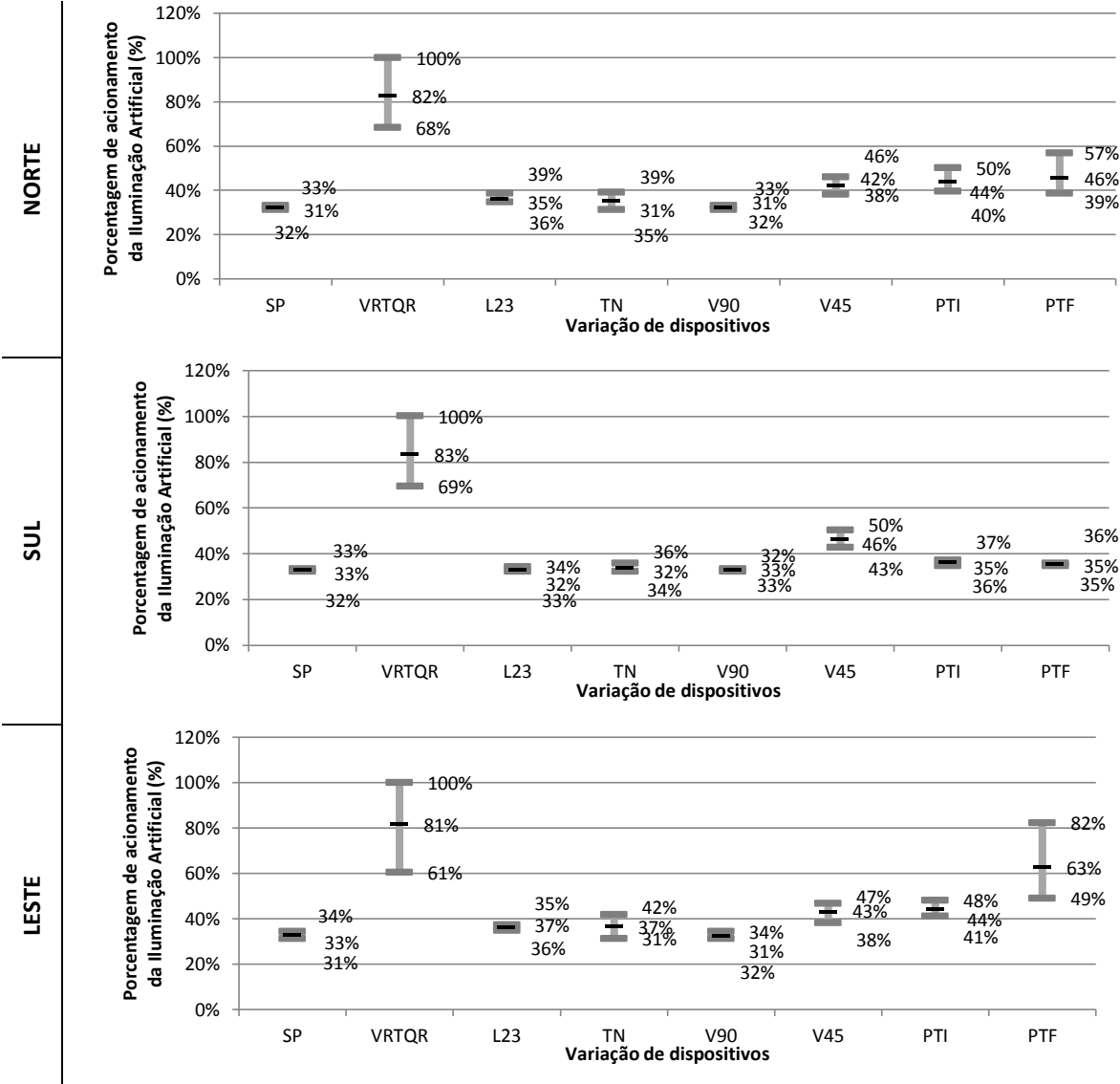


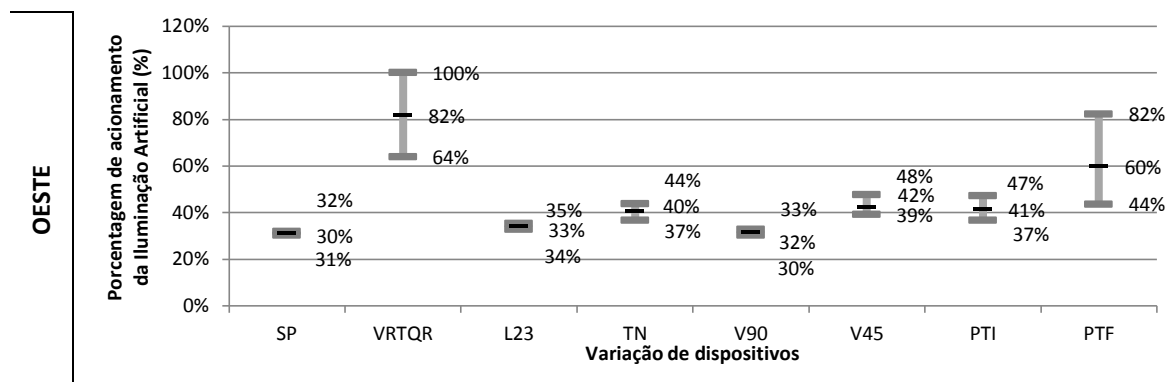
A figura acima representa a variação das porcentagens máximas (estar), médias e mínimas (dormitório) de horas de acionamento da iluminação artificial. Observa-se que as maiores variações acontecem com o uso de dispositivos VRTQR (variação de 39%), por apresentar configurações extremas de sombreamento ao longo do ano (venezianas fechadas durante o período de verão e abertas no período de inverno para as Zonas 1 a 4 e sempre fechadas nas demais Zonas) e pelo dispositivo PTF (variação de 47%) o que comprova a influência da forma do sistema sombreador no desempenho de iluminação natural no ambiente.

Destacando-se os resultados apresentados por orientação conforme Figura 60, observa-se que a variação apresentada pela figura compilada (Figura 59) não representa o comportamento de ambientes com aberturas para sul. Nesta orientação, os elementos sombreadores apresentam menores dimensões (Tabela 21) e, consequentemente, são responsáveis por um menor escurecimento do ambiente. Para leste e oeste, o impacto dos dispositivos no desempenho de iluminação natural no ambiente foi o mais significativo, necessitando de mais horas de acionamento da iluminação artificial. Isso é devido ao grande dimensionamento dos dispositivos identificado pelos métodos TN, PTI e PTF para essas orientações. Em geral, pode-se

notar que os dispositivos TN e PTI aumentam a necessidade de acionamento da iluminação artificial de 10 a 15% em relação ao modelo sem proteção.

Figura 60 Porcentagem de horas de acionamento da iluminação artificial com o uso de dispositivos de proteção solar do tipo VRTQR (Veneziana com acionamento no período de verão para as Zonas 1 a 4 e sempre acionada para as demais Zonas); L23 (Dispositivo de proteção externo horizontal dimensionado de acordo com RTQ-R – Método das Latitudes); Venezianas do tipo V45 (área de abertura para iluminação de 45%) e V90 (Abertura máxima para iluminação); Dispositivos externos PTI (Placas inteiras) e PTF (Placas filetadas) dimensionados para sombrear o período de luz natural útil – 7h40 às 16h20 - para as Zonas Bioclimáticas avaliadas e orientações norte, sul, leste e oeste.





Em relação às venezianas, a necessidade de acionamento da iluminação artificial se fez presente para as quatro orientações. Observa-se um resultado próximo entre os modelos com veneziana (VRTQ-R, V90 e V45). O modelo VRTQ-R, por apresentar venezianas fechadas durante determinado período do ano, apresentou a maior necessidade de acionamento de iluminação artificial variando de 64% a 100% das horas de ocupação. Observou-se que, quando fechada a veneziana, a iluminação artificial é acionada, já que dispositivo escurece totalmente o ambiente. Para os modelos V90 e V45, nota-se uma uniformidade da necessidade de acionamento da iluminação artificial para todas as orientações. Contudo, para o modelo V90, observa-se menor necessidade de acionamento da iluminação em relação ao modelo V45, uma vez que este apresenta uma folha fixa de veneziana sem possibilidade de contribuição de luz natural ao ambiente. A porcentagem de acionamento de iluminação artificial para o modelo V45 ficou entre 38 e 50%, já o modelo V90 aproximou-se das porcentagens do modelo SP (sem proteção) com valores entre 30 e 32% das horas de ocupação.

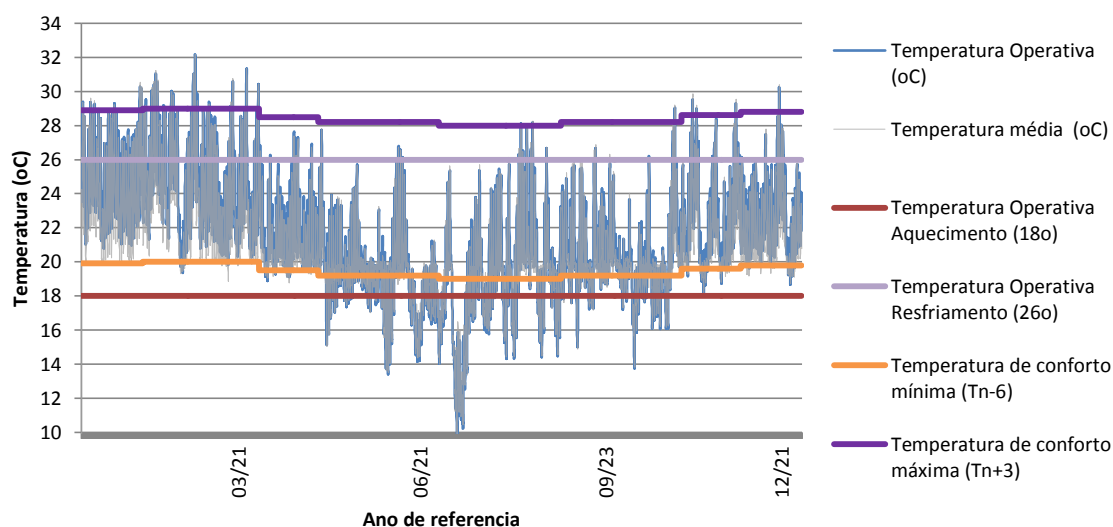
Pode-se concluir então, que os modelos de sombreamento mais robustos, como o PTF e VRTQR, apresentaram as maiores necessidades de acionamento do sistema de iluminação artificial para todas as Zonas e orientações solares, com exceção da orientação sul na qual, por apresentar uma necessidade menor de sombreamento, o modelo PTF permite maior integração com a iluminação natural. Para a orientação norte, também pode-se perceber maior integração da iluminação natural com o modelo PTF, apesar de ainda apresentar muitas horas de acionamento do sistema

artificial. Os modelos PTI, L23 e TN apresentaram bons desempenhos ao se avaliar a integração com a luz natural. Comparados ao modelo sem proteção, estes modelos variam de 15% até 50% a mais de horas ocupadas com acionamento.

#### 4.3. DESEMPENHO TÉRMICO COM O USO DE DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO SOLAR

Como demonstrado pelo item 3.5.3, as análises relativas ao desempenho térmico dos modelos com o uso de dispositivos de proteção solar foram feitas a partir do cálculo da temperatura operativa pelo programa *EnergyPlus*. Contudo, graus-hora são valores de pouco entendimento e percepção de conforto no ambiente. Sendo assim, foi gerado um gráfico comparativo entre as temperaturas operativas e temperaturas médias para um modelo sem proteção com abertura voltada para norte na Zona Bioclimática 1 (Figura 61). Neste gráfico foram destacados os valores limites de temperatura operativa para resfriamento e aquecimento e temperaturas limites, definindo uma Zona de conforto. A Zona de conforto foi determinada pela metodologia de temperatura neutra descrita no item 2.3.1, considerando  $T_{n+3}$  como temperatura máxima e  $T_{n-6}$  como temperatura mínima de conforto.

Figura 61 Comparativo entre temperatura operativa e temperatura média para um modelo sem proteção (SP) de um ambiente de dormitório com abertura voltada para norte na Zona Bioclimática 1.



Pode-se observar, a partir da avaliação do gráfico acima, que há pouca diferença entre a temperatura operativa e a temperatura média do ambiente. Além disso, observa-se

também que as temperaturas limite de graus-hora de resfriamento e aquecimento adotadas pelo RTQ-R são significativamente diferentes daquelas temperaturas limite de conforto estabelecidos pelo método de temperatura neutra como dado por PEREIRA e SOUZA, 2009. Nota-se que a temperatura operativa estabelecida pelo RTQ-R para cálculo dos graus-hora de resfriamento é mais restritiva que a temperatura de conforto o que tende a gerar uma superestimação de graus-hora para resfriamento. De maneira contrária, nota-se que as temperaturas de conforto para aquecimento são mais restritivas que a temperatura operativa estabelecida pelo RTQ-R para cálculo dos graus-hora de aquecimento, o que gera uma subestimativa deste valor, caso fosse considerado o conforto térmico. No entanto, ressalta-se aqui que, para análise do desempenho térmico dos modelos simulados, foram adotados os limites de temperatura operativa conforme descrito por LABEEE (2011b) e utilizado pelo RTQ-R para definição dos indicadores de eficiência.

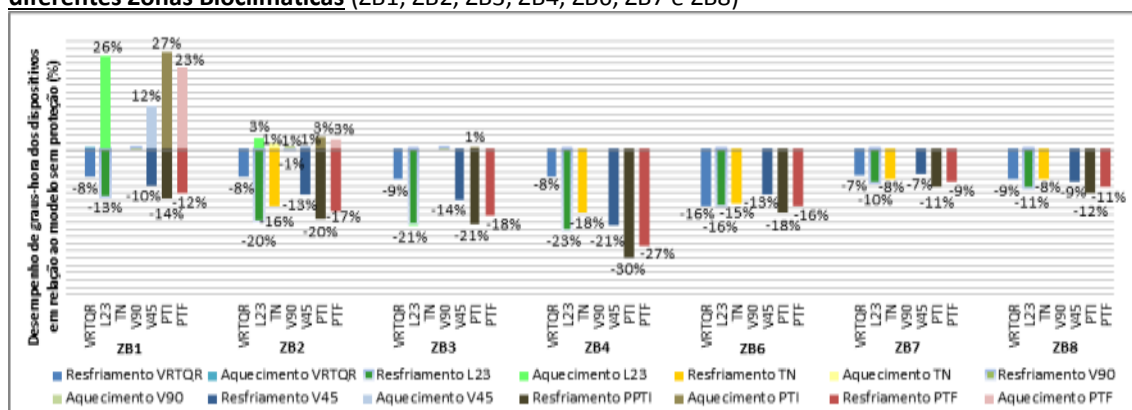
Os resultados do comportamento térmico dos ambientes com o uso de dispositivos de proteção estão representados da Figura 62 à Figura 65, de acordo com sua orientação solar. Os valores positivos representam o aumento de graus-hora em relação ao modelo sem proteção (SP) já os valores negativos representam diminuição de graus-hora. Quando não houveram alterações de graus-hora em relação ao modelo SP, não foram indicadas porcentagens. Observa-se um comportamento próximo das orientações leste e oeste em todas as Zonas Bioclimáticas, mas grandes diferenças entre as demais orientações. As aberturas voltadas para leste e oeste apresentam os maiores potenciais de redução de graus-hora quando comparados ao modelo sem proteção com a mesma condição de orientação. Pode-se notar que, em geral, para essas orientações, os dispositivos apresentaram uma redução de graus-hora para resfriamento de até 30% em relação ao modelo sem proteção.

É importante observar o impacto dos dispositivos de proteção solar quanto ao aumento de graus-hora para aquecimento nas Zonas 1 e 2. Para as demais Zonas, devido à inexistência ou pouca significância dos graus-hora para aquecimento, o impacto quanto ao uso de dispositivos foi relativo apenas à redução de graus-hora

para resfriamento.

#### 4.3.1. Orientação norte

Figura 62 Comparativo percentual da **diferença de graus-hora para resfriamento e aquecimento** dos modelos com dispositivos de proteção solar do tipo VRTQR (Veneziana com acionamento no período de verão para as Zonas 1 a 4 e sempre acionada para as demais Zonas); L23 (Dispositivo de proteção externo horizontal dimensionado de acordo com RTQ-R – Método das Latitudes); Venezianas do tipo V45 (área de abertura para iluminação de 45%) e V90 (Abertura máxima para iluminação); Dispositivos externos PTI (Placas inteiras) e PTF (Placas filetadas) dimensionados para sombrear o período de luz natural útil – 7h40 às 16h20em relação ao modelo sem proteção (SP) para a orientação **norte** nas **diferentes Zonas Bioclimáticas** (ZB1, ZB2, ZB3, ZB4, ZB6, ZB7 e ZB8)



Para a orientação norte (Figura 62), observa-se que os modelos com proteção solar do tipo PTI e PTF apresentaram as maiores reduções de graus-hora por resfriamento em todas as Zonas, seguido pelo modelo L23 quando este possui sombreamento. Nota-se que para esta orientação, não há exigência de sombreamento pelo método TN para as Zonas Bioclimáticas 1 e 3.

Visto que o impacto do sombreamento para a Zona Bioclimática 1 resulta em um aumento dos graus-hora para aquecimento no ambiente, é justificável a não indicação de sombreamento pelo método de TN. Contudo, se avaliarmos as condições da Zona 3, é clara a contribuição de sombreamento quanto à redução de graus-hora, e assim, incompatível a não exigência de sombreamento pelo método TN para esta orientação.

O dispositivo L23, ainda que se apresente como um método simplificado de dimensionamento de elementos externos de proteção solar e seja composto apenas por placas horizontais, mostrou bom desempenho quanto à minimização de graus-hora por resfriamento para esta orientação. Observam-se desempenhos semelhantes aos demais dispositivos com dimensionamentos mais robustos, como os modelos PTI e

PTF.

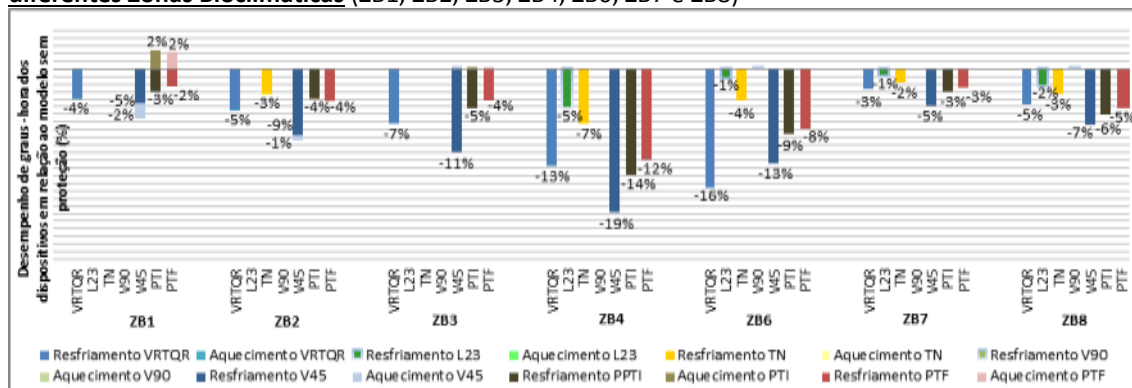
Observa-se ainda, a partir da comparação entre os modelos PTI e PTF, que o desempenho da abertura é influenciado pela forma do dispositivo de proteção já que ambos os dispositivos apresentam as mesmas máscaras de proteção solar, porém desempenhos diferentes. O modelo com Placas inteiras apresentou, em geral, maior redução de graus-hora em relação ao sem proteção do que modelo com Placas filetadas.

Pode-se notar que a veneziana V90 apresenta poucas horas de acionamento para esta orientação e, por isso, não houve significativas contribuições deste modelo quanto à minimização de graus-hora em relação ao modelo sem proteção. Este baixo acionamento da veneziana pode ser explicado pelo fato de o sol permanecer com alturas solares mais elevadas na fachada norte, atingindo pouca profundidade no ambiente. Como o plano de trabalho está localizado afastado da abertura, o sol raramente o atinge, não gerando necessidade, por parte do usuário, de fechar a veneziana. Vale lembrar que, para esta pesquisa, o plano de trabalho avaliado está a 0,75 cm do piso e posicionado de acordo com a posição prevista das luminárias em projeto luminotécnico. Uma vez que os parâmetros de acionamento da veneziana V45 são similares aos da veneziana V90, nota-se que o desempenho do modelo V45 é significativamente influenciado pela folha fixa deste modelo.

O modelo VRTQR apresentou um desempenho intermediário, porém inferior aos modelos com dispositivos externos acoplados à abertura (PTI, PTF, L23 e TN).

#### 4.3.2. Orientação sul

Figura 63 Comparativo percentual da **diferença de graus-hora para resfriamento e aquecimento** dos modelos com dispositivos de proteção solar do tipo VRTQR (Veneziana com acionamento no período de verão para as Zonas 1 a 4 e sempre acionada para as demais Zonas); L23 (Dispositivo de proteção externo horizontal dimensionado de acordo com RTQ-R – Método das Latitudes); Venezianas do tipo V45 (área de abertura para iluminação de 45%) e V90 (Abertura máxima para iluminação); Dispositivos externos PTI (Placas inteiras) e PTF (Placas filetadas) dimensionados para sombrear o período de luz natural útil – 7h40 às 16h20em relação ao modelo sem proteção (SP) para a orientação **sul** nas **diferentes Zonas Bioclimáticas** (ZB1, ZB2, ZB3, ZB4, ZB6, ZB7 e ZB8)



Em geral, o desempenho dos modelos com dispositivos quando orientados para sul (Figura 63) apresentou menor eficácia quando comparado ao modelo sem proteção, em relação às outras orientações. Isso pode ser explicado pela menor insolação nas aberturas para esta orientação. Observa-se que a diminuição da área envidraçada do modelo V45 apresentou influente contribuição, atingindo o melhor desempenho entre os dispositivos. Entende-se então que, para esta orientação, a influência do sombreamento apresenta menor impacto que a redução da área de abertura envidraçada.

É importante notar que, para esta orientação, as venezianas VRTQR e V45 apresentaram os melhores desempenhos, quando comparadas aos demais dispositivos.

Nota-se novamente que o dispositivo TN não mostrou exigência de sombreamento para as Zonas Bioclimáticas 1 e 3. Contudo, ambas as Zonas Bioclimáticas mostraram redução de graus-hora se observado o desempenho dos dispositivos gerados pelos demais métodos. Para a Zona Bioclimática 1 esta diminuição foi pouco significativa, justificando a inexistência da exigência por sombreamento no método TN. Contudo,

para a Zona 3, nota-se a efetividade da presença de sombreamento, o que torna a não exigência de sombreamento pelo método TN inadequada.

Para a orientação sul, o método L23 também apresenta inexistência de sombreamento em cidades com latitudes baixas, como as cidades representativas das Zonas Bioclimáticas 1, 2 e 3. Sendo assim, este método não apresentou contribuição para minimização de graus-hora, ainda que os outros métodos tenham demonstrado bom desempenho quando há sombreamento. Nota-se, também, que os modelos gerados pelo método L23, mesmo quando há a necessidade de sombreamento (Zonas Bioclimáticas 4, 6, 7 e 8), apresentam um dimensionamento significativamente menor que os modelos PTI, PTF e TN, e, conseqüentemente menor minimização de graus-hora de resfriamento.

#### 4.3.3. Orientações leste e oeste

As Figura 64 e Figura 65 a seguir apresentam desempenhos relativos às orientações leste e oeste. Nota-se grande semelhança entre os desempenhos que, portanto, serão apresentados e discutidos em conjunto.

Figura 64 Comparativo percentual da **diferença de graus-hora para resfriamento e aquecimento** dos modelos com dispositivos de proteção solar do tipo VRTQR (Veneziana com acionamento no período de verão para as Zonas 1 a 4 e sempre acionada para as demais Zonas); L23 (Dispositivo de proteção externo horizontal dimensionado de acordo com RTQ-R – Método das Latitudes); Venezianas do tipo V45 (área de abertura para iluminação de 45%) e V90 (Abertura máxima para iluminação); Dispositivos externos PTI (Placas inteiras) e PTF (Placas filetadas) dimensionados para sombrear o período de luz natural útil – 7h40 às 16h20 – em relação ao modelo sem proteção (SP) para a orientação **leste** nas **diferentes Zonas Bioclimáticas** (ZB1, ZB2, ZB3, ZB4, ZB6, ZB7 e ZB8)

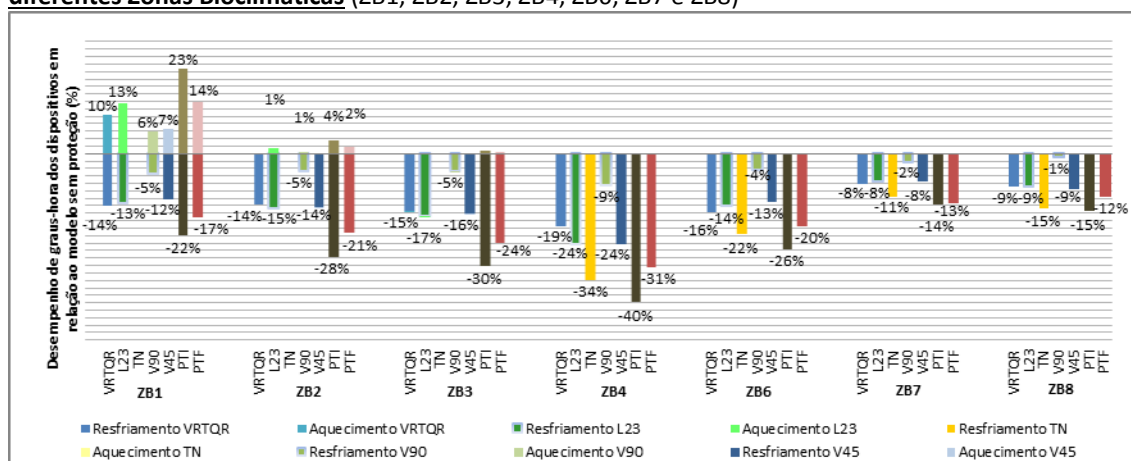
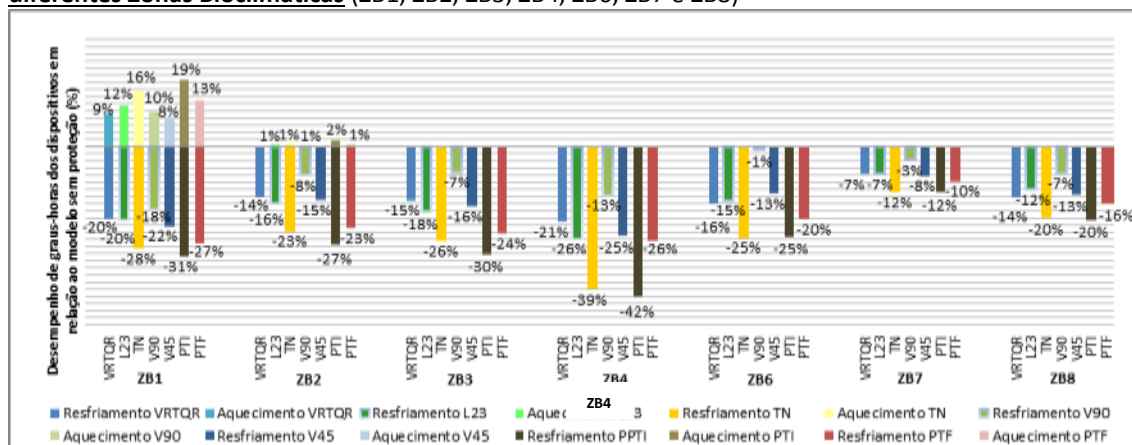


Figura 65 Comparativo percentual da **diferença de graus-hora para resfriamento e aquecimento** dos modelos com dispositivos de proteção solar do tipo VRTQR (Veneziana com acionamento no período de verão para as Zonas 1 a 4 e sempre acionada para as demais Zonas); L23 (Dispositivo de proteção externo horizontal dimensionado de acordo com RTQ-R – Método das Latitudes); Venezianas do tipo V45 (área de abertura para iluminação de 45%) e V90 (Abertura máxima para iluminação); Dispositivos externos PTI (Placas inteiras) e PTF (Placas filetadas) dimensionados para sombrear o período de luz natural útil – 7h40 às 16h20 – em relação ao modelo sem proteção (SP) para a orientação **oeste** nas **diferentes Zonas Bioclimáticas** (ZB1, ZB2, ZB3, ZB4, ZB6, ZB7 e ZB8)



Observa-se que os modelos PTI, PTF e TN apresentaram as maiores porcentagens de redução de graus-hora de resfriamento para todas as Zonas Bioclimáticas. Em seguida, as venezianas VRTQR e V45 mostraram bons desempenhos.

A veneziana V90, para as orientações leste e oeste, demonstrou acionamentos mais frequentes que os observados para as orientações norte e sul. Observa-se, contudo que para leste os valores são inferiores quando comparados aos de oeste.

O modelo L23 também apresentou um bom desempenho para as orientações leste e oeste, ainda que os ângulos de proteção solar sejam iguais para todas as Zonas Bioclimáticas. Observa-se ainda que o modelo L23 apresentou desempenho ainda melhor para as Zonas Bioclimáticas mais frias se equiparado ao desempenho das venezianas VRTQR e V45.

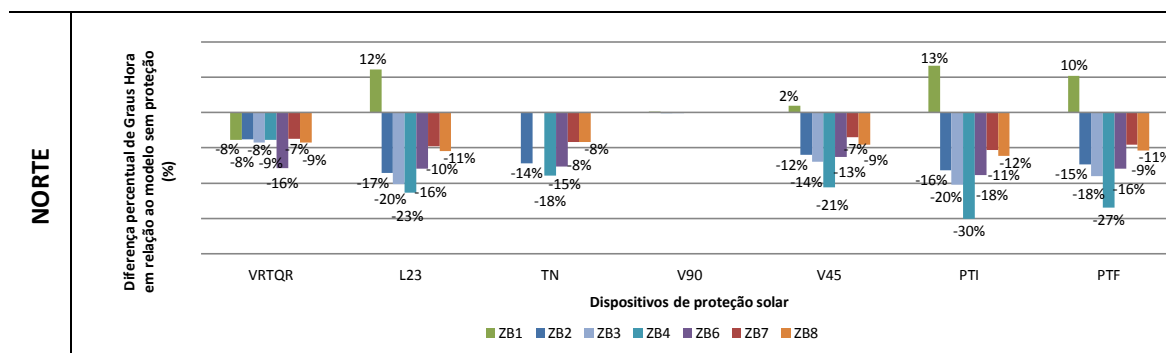
Vale notar que o aumento dos graus-hora para aquecimento das Zonas Bioclimáticas 1 e 2 se mostrou próximo ao aumento encontrado para orientação norte. Os modelos que geraram mais graus-hora de aquecimento foram PTI e PTF, por apresentarem os maiores dimensionamentos. Já a quantidade de graus-hora para resfriamento variou de acordo com a efetividade do sistema de sombreamento, ou seja, quanto maior o

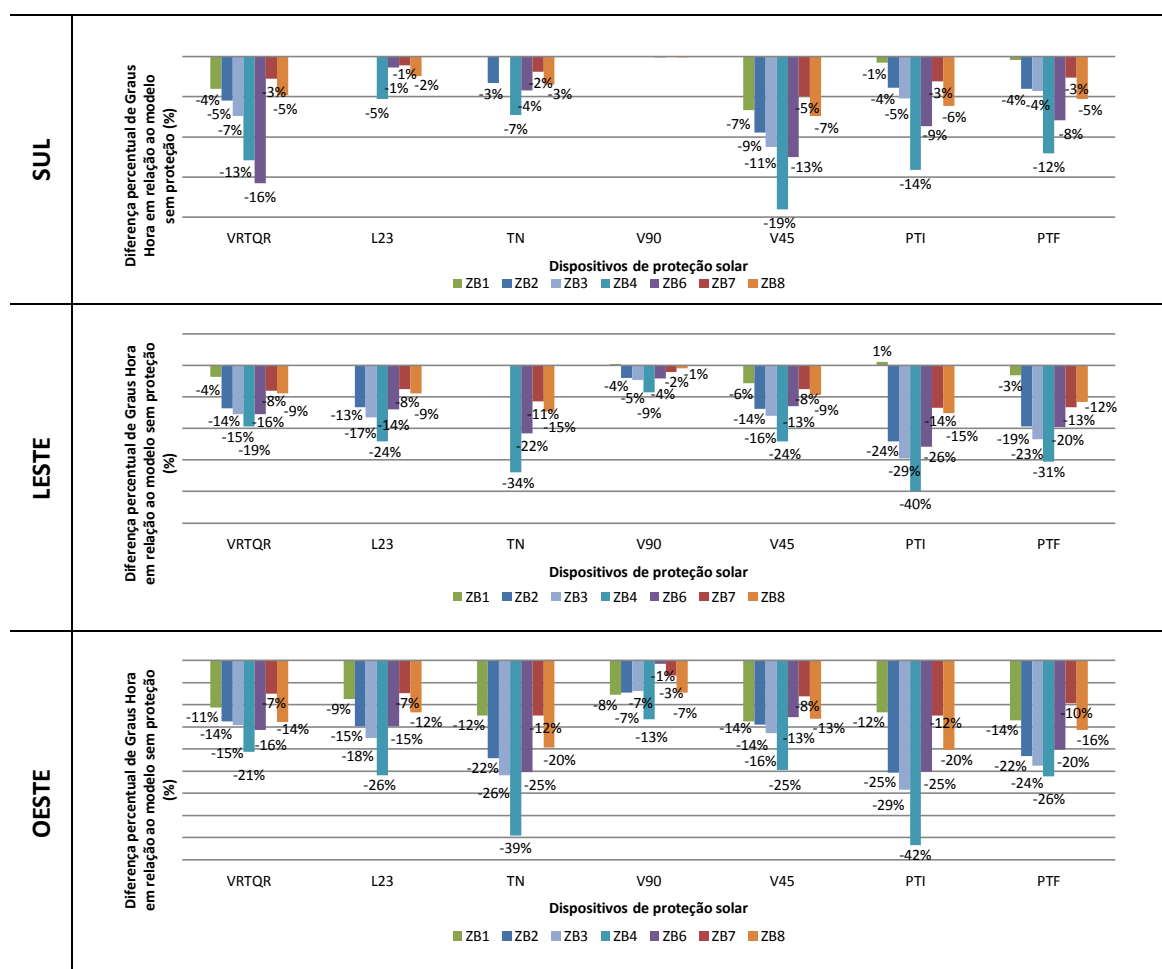
sombreamento, menor quantidade de graus-hora para resfriamento.

A seguir é apresentada uma compilação dos dados apresentados acima por tipologia de dispositivo, com intuito de propiciar uma análise do desempenho por sistema de sombreamento.

Como pudemos observar, todos os modelos com sombreamento na Zona Bioclimática 1 contribuem para a diminuição de graus-hora para resfriamento. Contudo, se observarmos a Figura 66 abaixo, podemos notar a contribuição resultante quanto ao aumento ou redução de graus-hora por dispositivo. Nota-se que, para a Zona 1, a veneziana VRTQR, por apresentar a característica de não sombreamento durante o período de inverno, apresenta diminuição de graus-hora. Já veneziana V90 não apresenta contribuição de sombreamento. Os demais modelos de proteção contribuem mais para o aumento de graus-hora de aquecimento do que para a redução dos graus-hora de resfriamento, resultando num desempenho negativo. Isso pode ser notado apenas para a Zona Bioclimática 1 e orientação norte e leste (nesta última, apenas para o modelo PTI).

Figura 66 Percentual da **diferença de graus-hora para resfriamento e aquecimento** com o uso de dispositivos de proteção solar do tipo VRTQR (Veneziana com acionamento no período de verão para as Zonas 1 a 4 e sempre acionada para as demais Zonas); L23 (Dispositivo de proteção externo horizontal dimensionado de acordo com RTQ-R – Método das Latitudes); Venezianas do tipo V45 (área de abertura para iluminação de 45%) e V90 (Abertura máxima para iluminação); Dispositivos externos PTI (Placas inteiras) e PTF (Placas filetadas) dimensionados para sombrear o período de luz natural útil – 7h40 às 16h20 – em relação ao modelo sem proteção (SP) para **todas as orientações** nas **diferentes Zonas Bioclimáticas** (ZB1, ZB2, ZB3, ZB4, ZB6, ZB7 e ZB8)





Em geral, observa-se que o impacto de um mesmo modelo de proteção solar nas diferentes as Zonas Bioclimáticas possui um intervalo bastante diferenciado quanto à redução ou aumento de graus-hora.

Dentre as venezianas, modelo VRTQR, apresenta variações de -21 a -1%, o modelo V90 de -13 a 0% e o modelo V45 de -25 a 1%. Em relação aos demais dispositivos, o modelo PTI variou de -42 a 13%, o modelo PTF de -31 a 10%, o modelo TN de -39 a 0% e L23 de -26 a 12%.

Mais uma vez, é possível observar que as maiores reduções de graus-hora são relativas aos modelos PTI, PTF e TN, seguidos pelos desempenhos de L23 e V45. Contudo, observa-se também, que os modelos de melhor desempenho são os que apresentam as maiores variações entre as Zonas.

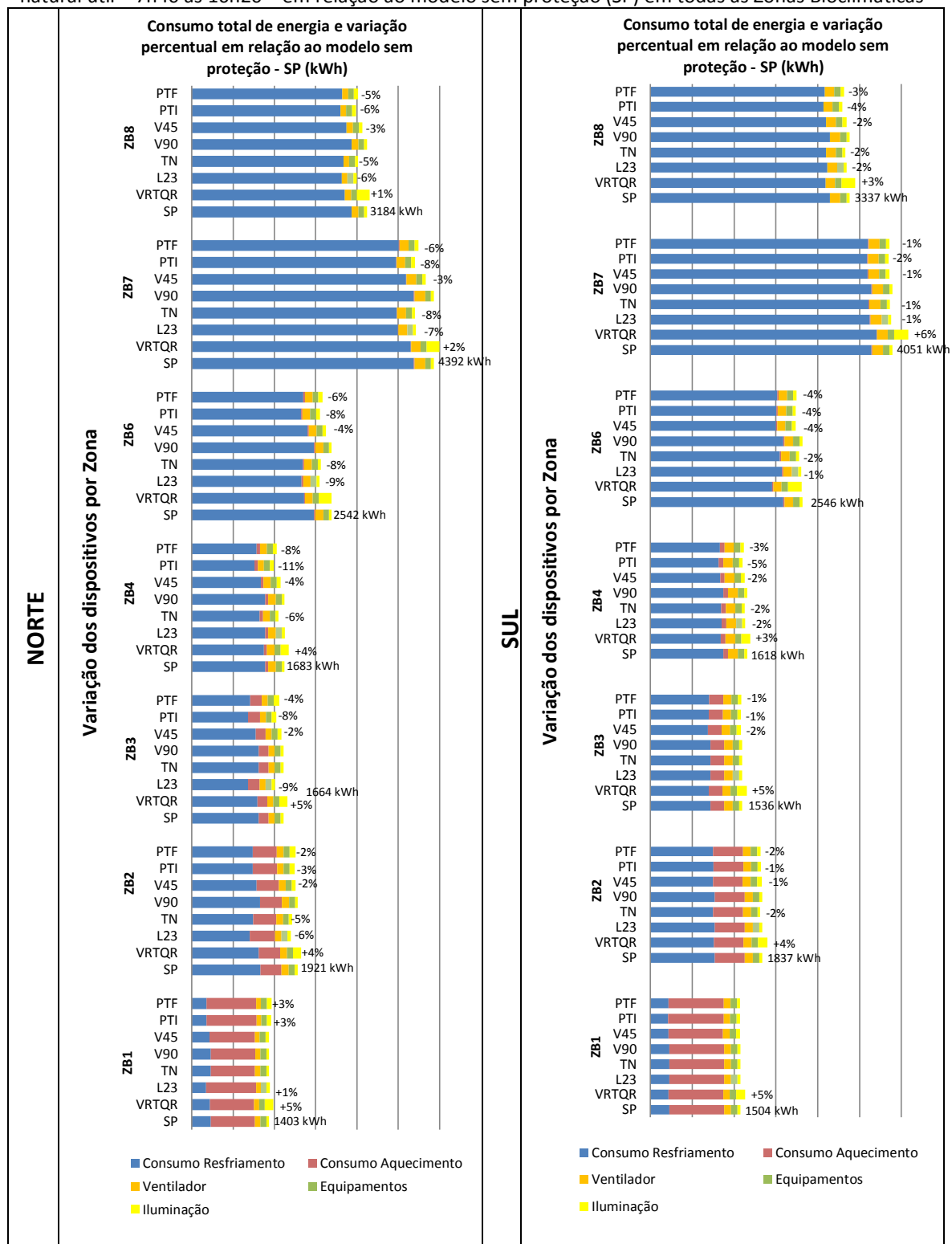
Ao destacar os resultados por dispositivo, podemos observar aqueles que, em média, obtiveram maiores redução de graus-hora por orientação solar. Para a orientação

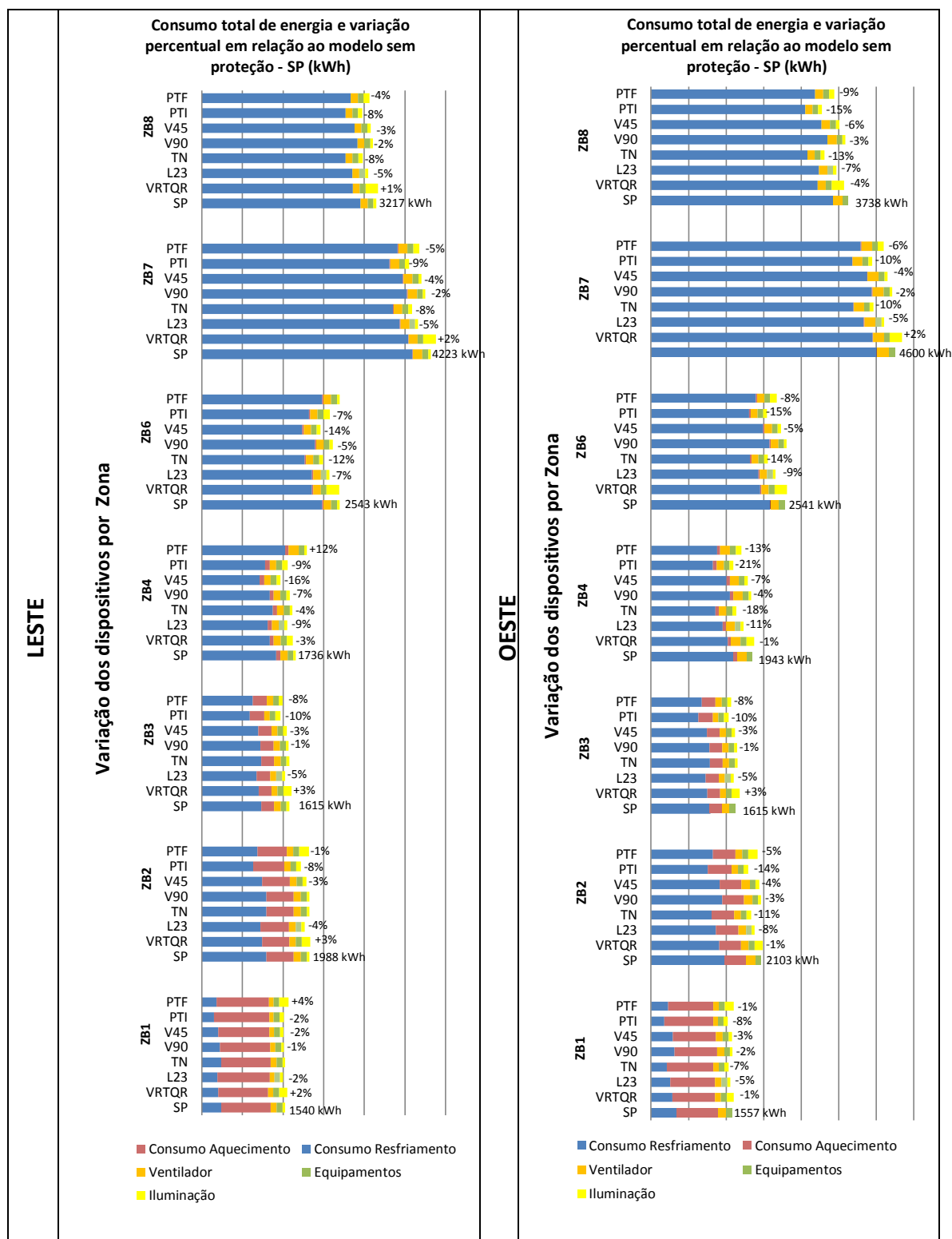
norte, os modelos PTI, PTF e L23 apresentaram as maiores reduções. Para a orientação sul, a venezianas foram os modelos com melhor desempenho - dispositivos V45 e V90. Já para a orientação leste e oeste os modelos PTI, PTF e TN apresentaram os melhores desempenhos. Contudo, para leste, nota-se que o modelo TN só conquistou bons desempenhos para as Zonas quentes, onde há exigência de sombreamento pelo método.

#### 4.4. CONSIDERAÇÕES RELATIVAS AO CONSUMO DE ENERGIA E O USO DE DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO SOLAR

As simulações quanto ao consumo de energia foram realizadas apenas para ambientes de dormitório. Os valores foram estimados a partir da soma do consumo de energia dos sistemas de aquecimento, resfriamento, sistema de iluminação artificial, equipamentos e ventiladores. Os resultados foram compilados em gráficos por orientação solar e Zona Bioclimática, conforme demonstrado nas figuras a seguir.

Figura 67 Consumo de energia e diferença percentual em relação ao modelo sem proteção do ambiente dormitório com dispositivos de proteção solar do tipo VRTQR (Veneziana com acionamento no período de verão para as Zonas 1 a 4 e sempre acionada para as demais Zonas); L23 (Dispositivo de proteção externo horizontal dimensionado de acordo com RTQ-R – Método das Latitudes); Venezianas do tipo V45 (área de abertura para iluminação de 45%) e V90 (Abertura máxima para iluminação); Dispositivos externos PTI (Placas inteiras) e PTF (Placas filetadas) dimensionados para sombrear o período de luz natural útil – 7h40 às 16h20 – em relação ao modelo sem proteção (SP) em todas as Zonas Bioclimáticas





A partir da observação das figuras acima, vale ressaltar o impacto dos dispositivos de proteção solar no consumo de energia em cada Zona Bioclimática. Observa-se que

estes resultados variam de acordo com a Zona Bioclimática e orientação solar. Para iluminação artificial, o consumo foi estimado a partir das rotinas de acionamento do sistema geradas pelos resultados das simulações de iluminação pelo *Daysim*. O resultado para equipamentos se manteve igual para todos os dispositivos, Zonas Bioclimáticas e orientações solares, uma vez que não foi alterado nos dados de entrada dos modelos. Já o consumo relativo a ventiladores, resfriamento e aquecimento são alterados de acordo com o acionamento do sistema de condicionamento artificial.

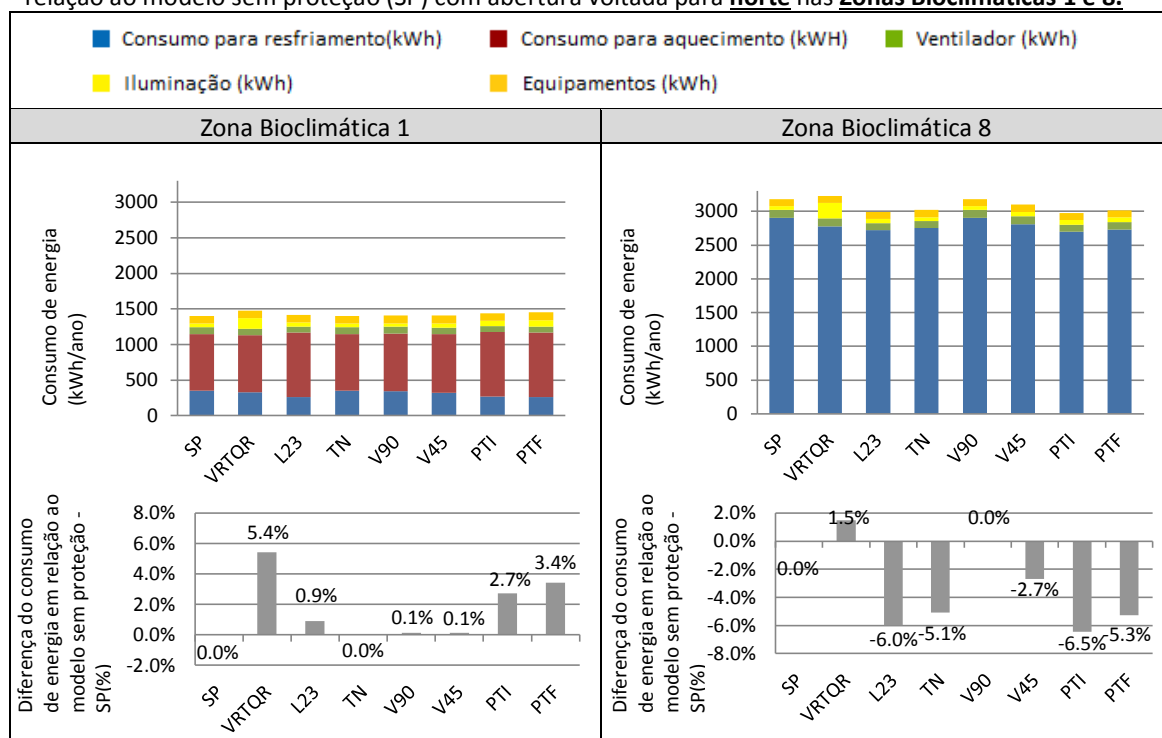
Como esperado, observa-se um consumo relativo a aquecimento nas Zonas Bioclimáticas frias (ZB1 a ZB4) e a inexistência deles da ZB6 à ZB8, Zonas Bioclimáticas quentes. Na Zona Bioclimática 1 o consumo relativo ao aquecimento é ainda mais expressivo que o consumo relativo ao resfriamento.

Pode-se observar que, os modelos VRTQR, V90 e SP, com aberturas voltadas para norte e sul, apresentam os maiores consumos. Já para leste e oeste, o modelo PTF também está entre os maiores consumos. Observa-se que o aumento do consumo total pelos sistemas VRTQR e PTF é impulsionado pelo aumento do consumo pelo sistema de iluminação.

Os modelos PTI e TN (quando indicado o uso de proteção solar) apresentaram, em geral, os menores consumos de energia para todas as orientações. Esse resultado pode ser observado com maior clareza para leste e oeste. Para norte, o desempenho do modelo L23 também apareceu entre os menores consumos.

A fim de se propor uma discussão mais aprofundada acerca das fontes de consumo de energia, foram representados abaixo gráficos para duas Zonas Bioclimáticas extremas quanto à sua localização no país (ZB1 e ZB8). A Figura 68, mostra o perfil anual de consumo de energia e um percentual de economia dos modelos em relação ao caso base, sem proteção, para a orientação norte

Figura 68 **Comparativo do consumo de energia** do ambiente dormitório com dispositivos de proteção solar do tipo VRTQR (Veneziana com acionamento no período de verão para as Zonas 1 a 4 e sempre acionada para as demais Zonas); L23 (Dispositivo de proteção externo horizontal dimensionado de acordo com RTQ-R – Método das Latitudes); Venezianas do tipo V45 (área de abertura para iluminação de 45%) e V90 (Abertura máxima para iluminação); Dispositivos externos PTI (Placas inteiras) e PTF (Placas filetadas) dimensionados para sombrear o período de luz natural útil – 7h40 às 16h20 – em relação ao modelo sem proteção (SP) com abertura voltada para **norte** nas **Zonas Bioclimáticas 1 e 8**.



Os gráficos da Figura 68 retratam a diferença do consumo de energia com o uso de dispositivos de proteção solar em relação ao modelo sem proteção, quando avaliados resfriamento, aquecimento, iluminação, ventiladores e equipamentos. Nota-se que em ambas as Zonas, o consumo de energia proveniente do acionamento de iluminação artificial varia de acordo com o dispositivo de proteção. É importante observar que, ainda que um dispositivo específico apresente um bom desempenho quanto ao consumo de energia por refrigeração, o modelo pode apresentar um maior consumo total de energia devido à carga de iluminação artificial. Tal aspecto é uma ocorrência frequente em modelos de dispositivos de proteção que não apresentam a característica de integração da luz natural ao ambiente, como, por exemplo, a veneziana VRTQR. Os demais dispositivos do tipo veneziana também apresentam esta característica, contudo, como já destacado anteriormente, para a orientação norte estes dispositivos apresentaram pouco acionamento da veneziana, e, assim, pouca

necessidade de acionamento da iluminação artificial. É importante observar também que, apesar de o dispositivo V45 ter uma folha fixa, e, conseqüentemente, sua área de abertura para iluminação ser menor, o modelo não apresenta a necessidade de acionamento da luminária para ZB1 e ZB8. Isso pode ser justificado pelos baixos níveis de iluminância exigido por ambientes de dormitório e pela forma pouco profunda do ambiente em análise.

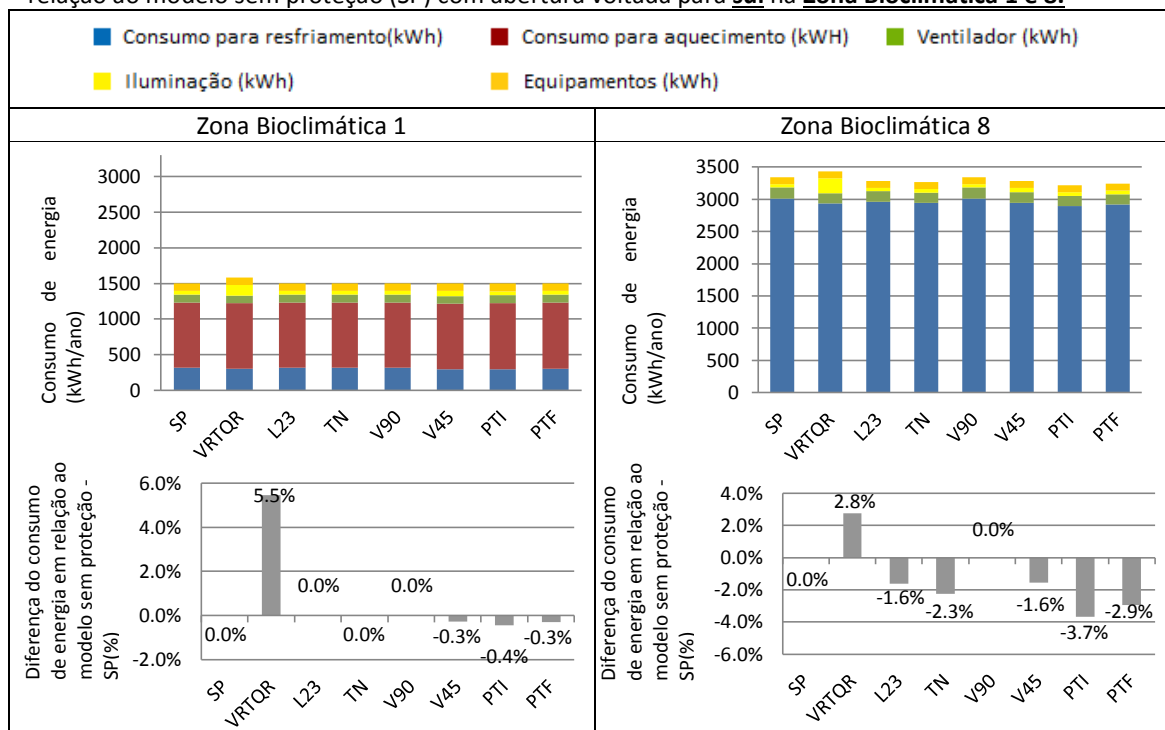
Estes resultados permitem também uma análise comparativa entre os resultados das duas Zonas Bioclimáticas. Observa-se que o consumo relativo a resfriamento na ZB8 é bastante superior ao da ZB1. Enquanto isso, o consumo relativo a aquecimento inexistente na ZB8, ao passo que é expressivo na ZB1. Isso também pode ser observado quanto aos percentuais de economia de energia em relação ao modelo sem proteção. Nota-se que a presença de proteção solar aumenta o consumo de energia (diferença positiva) para a Zona Bioclimática 1. Já na Zona Bioclimática 8, a presença do dispositivo de proteção solar diminui o consumo de energia (diferença negativa). As maiores reduções no consumo de energia aconteceram nos modelos com os dispositivos PTI, PTF, L23 e TN, alcançando economias de até 6,5%. Já o maior aumento do consumo de energia devido ao uso de dispositivos ocorreu para o modelo VRTQR (aumento de 5,4%) seguido pelo PTI e PTF (2,7% e 3,4%, respectivamente).

Observa-se que para a orientação sul (Figura 69), o consumo relativo à iluminação artificial também varia de acordo com os dispositivos de proteção. O modelo VRTQR apresenta o maior consumo por iluminação artificial para ambas as Zonas Bioclimáticas, já que permanece com as venezianas fechadas durante metade do ano. Também para esta orientação, nota-se que os modelos V45 e V90, não apresentaram significativas horas de acionamento das venezianas, o que pode ser percebido pelo baixo consumo por iluminação artificial.

Pode-se notar, também, que para a orientação sul, a influência dos dispositivos de proteção solar no aumento do consumo de energia não se faz tão significativa quanto para a orientação norte, com exceção do dispositivo VRTQR. Para os outros dispositivos há diminuição do consumo de energia para ZB8, enquanto para ZB1 essa

diminuição é insignificante. Isso se justifica pela menor disponibilidade de luz natural para esta orientação e menor dimensionamento dos dispositivos.

Figura 69 **Comparativo do consumo de energia** do ambiente dormitório com dispositivos de proteção solar do tipo VRTQR (Veneziana com acionamento no período de verão para as Zonas 1 a 4 e sempre acionada para as demais Zonas); L23 (Dispositivo de proteção externo horizontal dimensionado de acordo com RTQ-R – Método das Latitudes); Venezianas do tipo V45 (área de abertura para iluminação de 45%) e V90 (Abertura máxima para iluminação); Dispositivos externos PTI (Placas inteiras) e PTF (Placas filetadas) dimensionados para sombrear o período de luz natural útil – 7h40 às 16h20 – em relação ao modelo sem proteção (SP) com abertura voltada para **sul** na **Zona Bioclimática 1 e 8**.

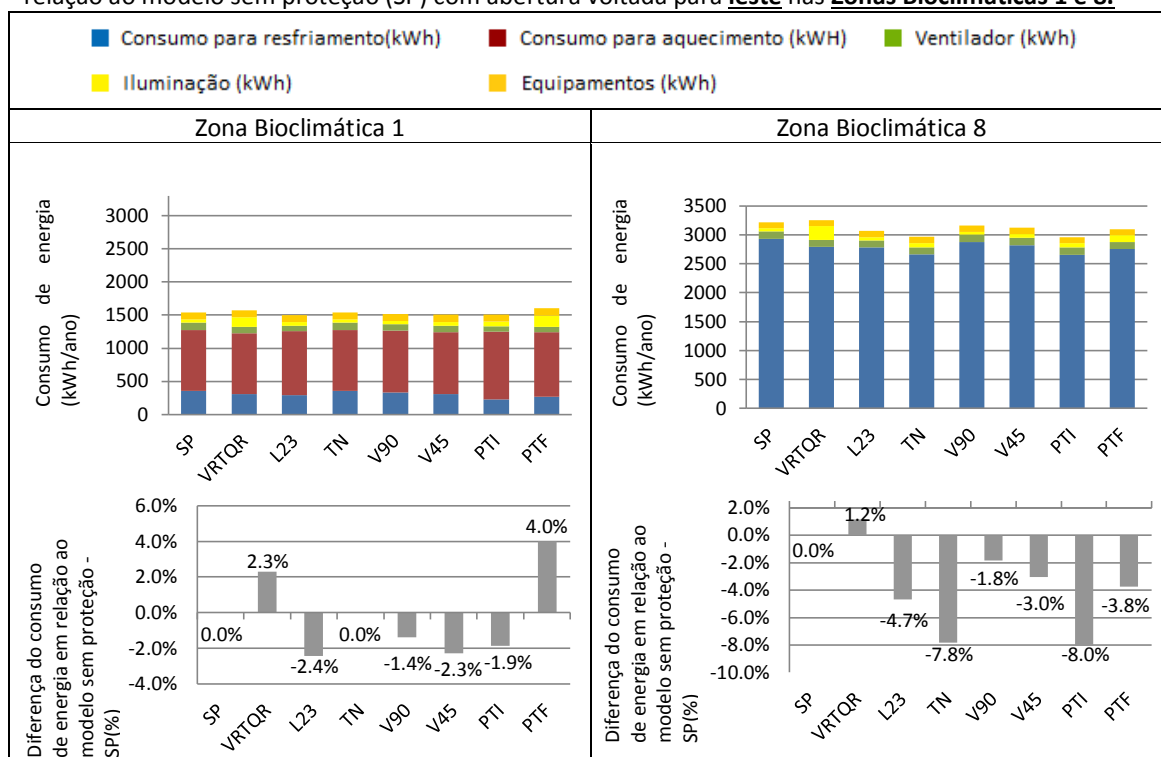


É importante notar que a o aumento do consumo de energia com o uso dos dispositivos VRTQR para ambas as Zonas variam de 2,8% e 5,5%. Nota-se, ainda, que os potenciais de economia de energia com o uso de dispositivos de proteção solar variam de 1,6% a 3,7% para a Zona Bioclimática 8 e de 0,3 a 0,4% para a Zona Bioclimática 1. Esta diferença entre os potenciais de economia de energia novamente demonstra as características climáticas de cada Zona e o impacto dos dispositivos de proteção sobre as necessidades de aquecimento e resfriamento.

Para a orientação leste (Figura 70), observa-se uma semelhança em relação às outras orientações quanto ao consumo de energia para iluminação artificial, porém nota-se que o modelo PTF também apresentou grande consumo de energia por esta fonte. Isso é justificado pelo grande dimensionamento do dispositivo de sombreamento e pela

sua forma, que não permite boa integração da luz natural no ambiente.

Figura 70 **Comparativo do consumo de energia** do ambiente dormitório com dispositivos de proteção solar do tipo VRTQR (Veneziana com acionamento no período de verão para as Zonas 1 a 4 e sempre acionada para as demais Zonas); L23 (Dispositivo de proteção externo horizontal dimensionado de acordo com RTQ-R – Método das Latitudes); Venezianas do tipo V45 (área de abertura para iluminação de 45%) e V90 (Abertura máxima para iluminação); Dispositivos externos PTI (Placas inteiras) e PTF (Placas filetadas) dimensionados para sombrear o período de luz natural útil – 7h40 às 16h20 – em relação ao modelo sem proteção (SP) com abertura voltada para **leste** nas **Zonas Bioclimáticas 1 e 8**.

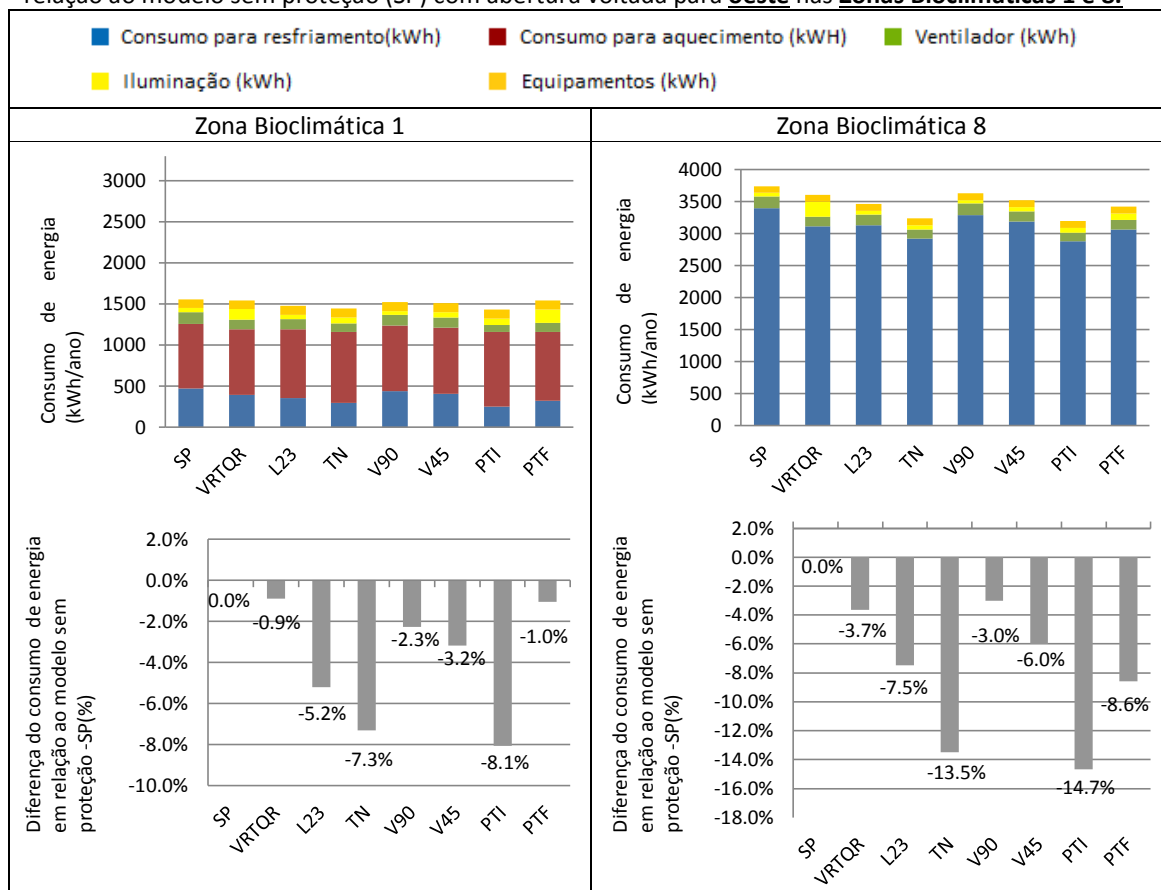


As diferenças relativas ao consumo por resfriamento e aquecimento se mantiveram para esta orientação, assim como para as demais. Contudo, a contribuição de alguns dispositivos de proteção solar gera economia de energia mesmo para a Zona Bioclimática 1. Para a Zona Bioclimática 8 a contribuição dos dispositivos quanto à minimização do consumo de energia foi mais efetiva. Nota-se que os dispositivos PTI e TN apresentaram os melhores desempenhos (com redução de até 8% no consumo de energia), seguidos pelo L23, com até 4,7% de redução de consumo de energia.

Os resultados para orientação oeste (Figura 71) demonstraram os melhores desempenhos quanto a redução de consumo de energia tanto para a Zona Bioclimática 1 quanto para ZB8. Observa-se que, ainda que a veneziana VRTQR e o modelo PTI tenham apresentado grande necessidade de acionamento da iluminação artificial, o

sistema de sombreamento contribuiu significativamente para diminuição do consumo de energia.

Figura 71 **Comparativo do consumo de energia** do ambiente dormitório com dispositivos de proteção solar do tipo VRTQR (Veneziana com acionamento no período de verão para as Zonas 1 a 4 e sempre acionada para as demais Zonas); L23 (Dispositivo de proteção externo horizontal dimensionado de acordo com RTQ-R – Método das Latitudes); Venezianas do tipo V45 (área de abertura para iluminação de 45%) e V90 (Abertura máxima para iluminação); Dispositivos externos PTI (Placas inteiras) e PTF (Placas filetadas) dimensionados para sombrear o período de luz natural útil – 7h40 às 16h20 – em relação ao modelo sem proteção (SP) com abertura voltada para **oeste** nas **Zonas Bioclimáticas 1 e 8**.



Nota-se que não houve aumento do consumo de energia para esta orientação, como ocorreu com os modelos VRTQR e PTF, apresentados anteriormente. Observa-se novamente que os dispositivos que apresentaram os melhores desempenhos foram o TN e o PTI, com economias de até 14,7%, seguidos pelo modelo L23 e PTF (para Zona 8, apenas). Observa-se que os maiores potenciais de economia de energia com o uso de sombreamento nas aberturas acontecem para aberturas voltadas para oeste. Para esta orientação o potencial de economia de energia chega a 14,7%, enquanto que para norte este potencial foi de 6,5%, para leste, de 8,0% e para sul, de 2,9%.

#### 4.5. DISCUSSÃO SOBRE O MÉTODO DE AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS DE SOMBREAMENTO NO RTQ-R

##### 4.5.1. Discussão acerca do procedimento de avaliação da presença de sombreamento no método prescritivo do RTQ-R – Variável *Somb*

O método prescritivo do Regulamento de eficiência energética brasileiro para edifícios residenciais (RTQ-R) avalia a presença de sombreamento nas aberturas das unidades habitacionais através da variável *Somb*. Esta variável é determinada a partir de três métodos já apresentados no item 2.5.1 da revisão bibliográfica, são eles: Método da Latitude (L23), Método das Venezianas (VRTQR) e Método dos ângulos de sombreamento para temperaturas neutras (TN). A partir da avaliação por estes métodos é possível classificar a presença de sombreamento com pontuações que variam de 0 a 1, sendo: 0 quando não há sombreamento; 1 quando sombreado por venezianas; até 0,5 quando sombreadas por dispositivos de proteção que atendam às exigências do método das temperaturas neutras (TN); ou 0,2 quando os dispositivos forem dimensionados de acordo com método da Latitude (L23). Caso o ambiente tenha mais de uma abertura, esta pontuação é calculada a partir de uma média ponderada pela área de iluminação de todas as aberturas do ambiente.

É importante observar que o cálculo da variável *Somb* torna-se, por vezes, não uniformes em termos de pontuação, uma vez que um mesmo elemento de proteção poderia ser interpretado pelos três métodos do regulamento, recebendo variadas pontuações. Sendo assim, entende-se que é necessário investigar o impacto que cada método apresenta em relação ao desempenho da abertura, com intuito de buscar uma uniformização dos valores de avaliação da presença de sombreamento.

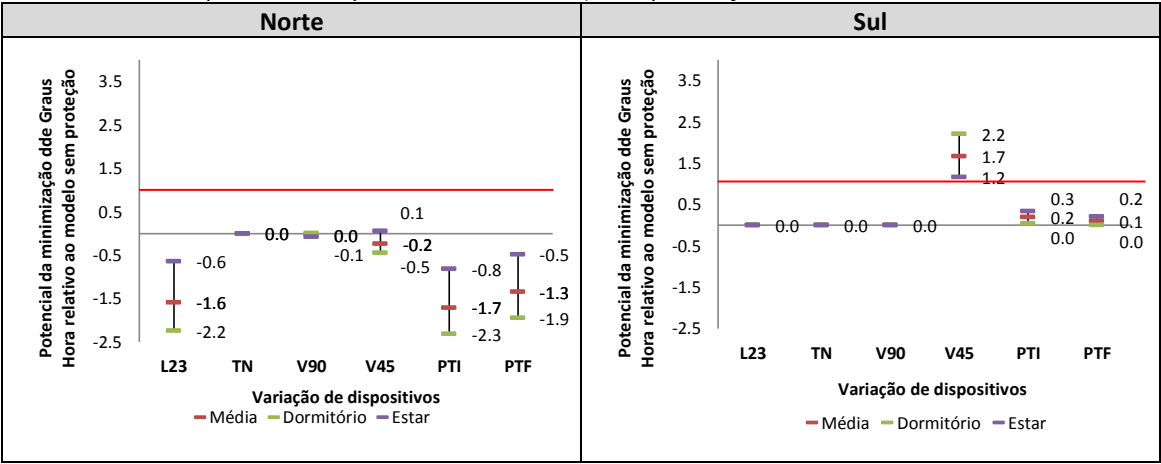
A partir das simulações computacionais realizadas, e, com intuito de se investigar a compatibilidade dos valores das pontuações atribuídas pelo RTQ-R aos dispositivos, foi possível criar uma escala única para pontuação dos dispositivos. Esta escala foi construída a partir dos resultados da simulação dos ambientes condicionados naturalmente considerando o desempenho do modelo sem proteção (SP) com

pontuação 0 (zero) e o desempenho do modelo com veneziana (simulada de acordo com o modelo utilizado para elaboração das equações do RTQ-R - VRTQR) com pontuação 1 (um). Os dispositivos receberam então, pontuações com valores entre 0 e 1, ou superiores a 1 caso demonstrado desempenhos melhores que os do modelo VRTQR.

Dessa forma, foram gerados gráficos (Figura 72 a Figura 76 ) que demonstram as pontuações de cada modelo por Zona Bioclimática e orientação a partir dos resultados de graus hora. Pôde-se observar que as pontuações encontradas para o ambiente de estar foram menores que aquelas encontradas para o ambiente de dormitório devido às dimensões do ambiente, já que este caracteriza-se por um ambiente pouco profundo. Sendo assim, os gráficos demonstram as pontuações para o ambiente de dormitório (maior valor) e de estar (menor valor) e uma média entre eles, adotada como o valor final da pontuação do dispositivo. A linha vermelha indica a pontuação limite pelo RTQ-R, de 1 ponto.

4.5.1.1. Zona Bioclimática 1

Figura 72 **Escala de pontuação da variável Somb** na **Zona Bioclimática 1** para aberturas com dispositivos do tipo L23 (Dispositivo de proteção externo horizontal dimensionado de acordo com RTQ-R – Método das Latitudes); Venezianas do tipo V45 (área de abertura para iluminação de 45%) e V90 (Abertura máxima para iluminação); Dispositivos externos PTI (Placas inteiras) e PTF (Placas filetadas) dimensionados para sombrear o período de luz natural útil – 7h40 às 16h20, sendo o modelo SP (Sem proteção) com pontuação 0 e modelo VRTQR (Veneziana com acionamento no período de verão para as Zonas 1 a 4 e sempre acionada para as demais Zonas) com pontuação 1.



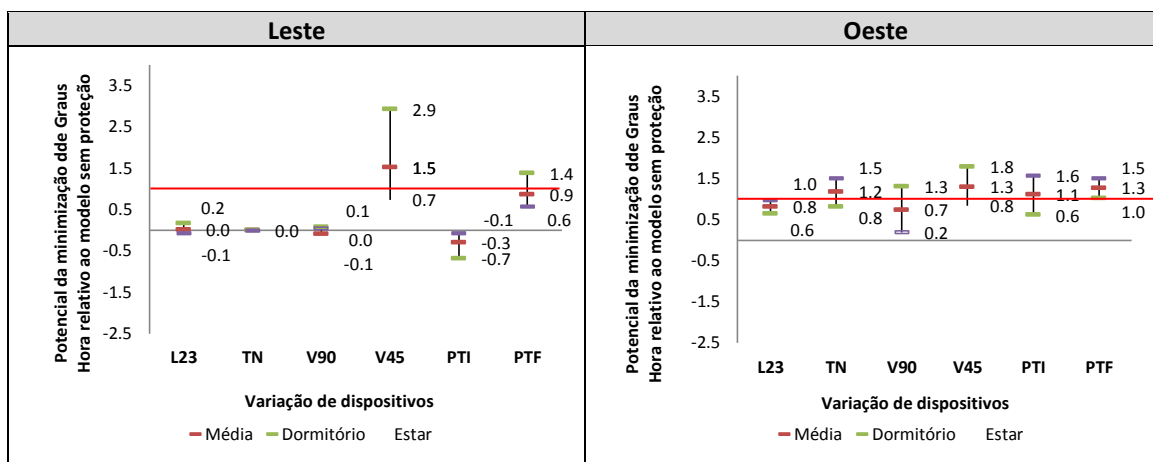


Tabela 23 Resumo da escala pontuação final **da variável Somb** na **Zona Bioclimática 1** para aberturas com dispositivos do tipo L23 (Dispositivo de proteção externo horizontal dimensionado de acordo com RTQ-R – Método das Latitudes); Venezianas do tipo V45 (área de abertura para iluminação de 45%) e V90 (Abertura máxima para iluminação); Dispositivos externos PTI (Placas inteiras) e PTF (Placas filetadas) dimensionados para sombrear o período de luz natural útil – 7h40 às 16h20, sendo o modelo SP (Sem proteção) com pontuação 0 e modelo VRTQR (Veneziana com acionamento no período de verão para as Zonas 1 a 4 e sempre acionada para as demais Zonas) com pontuação 1.

|       | SP  | VRTQR | L23  | TN  | V90  | V45  | PTI  | PTF  |
|-------|-----|-------|------|-----|------|------|------|------|
| Norte | 0.0 | 1.0   | -1.6 | 0.0 | 0.0  | -0.2 | -1.7 | -1.4 |
| Sul   | 0.0 | 1.0   | 0.0  | 0.0 | 0.0  | 1.7  | 0.2  | 0.1  |
| Leste | 0.0 | 1.0   | 0.0  | 0.0 | -0.1 | 1.5  | -0.3 | 0.9  |
| Oeste | 0.0 | 1.0   | 0.8  | 1.2 | 0.7  | 1.3  | 1.1  | 1.3  |

Como demonstrado nas figuras acima, os resultados da Zona Bioclimática 1 apresentam pontuações “negativas”. Isto ocorreu devido à constatação de que dispositivos de proteção solar tendem a aumentar os graus-hora para aquecimento em relação ao modelo SP. Observa-se que esta característica ocorre em todos os dispositivos para a orientação norte, com exceção do modelo VRTQR, pontuado de acordo com o RTQ-R e utilizado como referência para as demais pontuações. Observa-se que os modelos L23, TN e V90, quando não apresentam sombreamento, recebem a pontuação 0, tal qual o modelo sem proteção. Nota-se que os modelos PTI, PTF, V45 e TN, para algumas orientações apresentaram desempenhos superiores ao modelo VRTQR com aumentos de até 66% da pontuação.

Observa-se que o modelo L23 receberia a nota 0,2 para todas as orientações quando avaliado pelo método do RTQ-R, porém, os resultados demonstram valores de -1,6 a

0,8. Já para os demais dispositivos (PTI, PTF e TN), que receberiam pontuação de até 0,5 pelo RTQ-R, as simulações demonstram receber valores entre -1,7 e 1,3. Para as venezianas, as quais pontuam o valor máximo pelo RTQ-R, nota-se uma grande variação nos resultados das simulações com valores de -0,2 a 1,3.

Em geral, os resultados da Zona Bioclimática 1 variaram bastante. Acredita-se que a pontuação negativa, justifica a exigência de não sombreamento nesta Zona Bioclimática, à excessão da fachada oeste, e, para tanto, deveria receber o *Somb* máximo quando não houver sombreamento. Entende-se também que é necessária a definição de valores por orientação para esta Zona devido a grande variação das pontuações dos dispositivos.

#### 4.5.1.2. Zona Bioclimática 2

Como pode-se observar na Figura 73, as pontuações para a Zona Bioclimática 2 se diferem bastante do zoneamento anterior, já que não apresentam valores em que os graus hora de aquecimento predominam em relação aos de resfriamento. Os modelos L23 e TN para sul e TN para leste receberam valores iguais a 0, uma vez que não apresentaram necessidade de acionamento ou sombreamento. Observa-se que o dispositivo L23 apresenta valores mais elevados para o *Somb* que aquele determinado pelo RTQ-R, de 0,2. Os resultados demonstram uma pontuação variando de 0 a 2,8, de acordo com a orientação solar.

Figura 73 **Escala de pontuação da variável Somb** na **Zona Bioclimática 2** para aberturas com dispositivos do tipo L23 (Dispositivo de proteção externo horizontal dimensionado deZ acordo com RTQ-R – Método das Latitudes); Venezianas do tipo V45 (área de abertura para iluminação de 45%) e V90 (Abertura máxima para iluminação); Dispositivos externos PTI (Placas inteiras) e PTF (Placas filetadas) dimensionados para sombrear o período de luz natural útil – 7h40 às 16h20, sendo o modelo SP (Sem proteção) com pontuação 0 e modelo VRTQR (Veneziana com acionamento no período de verão para as Zonas 1 a 4 e sempre acionada para as demais Zonas) com pontuação 1.

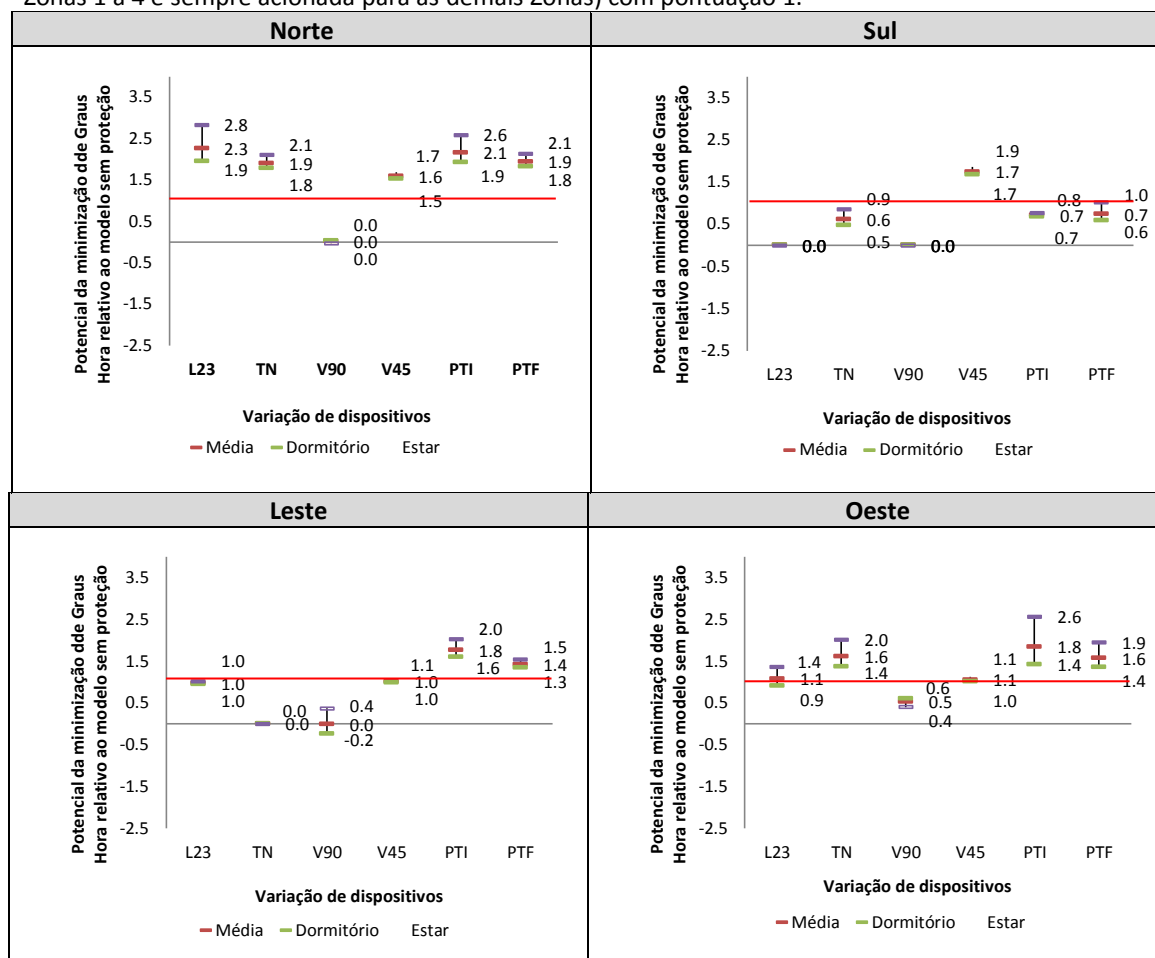


Tabela 24 Resumo da escala de pontuação final **da variável Somb** na **Zona Bioclimática 2** para aberturas com dispositivos do tipo L23 (Dispositivo de proteção externo horizontal dimensionado de acordo com RTQ-R – Método das Latitudes); Venezianas do tipo V45 (área de abertura para iluminação de 45%) e V90 (Abertura máxima para iluminação); Dispositivos externos PTI (Placas inteiras) e PTF (Placas filetadas) dimensionados para sombrear o período de luz natural útil – 7h40 às 16h20, sendo o modelo SP (Sem proteção) com pontuação 0 e modelo VRTQR (Veneziana com acionamento no período de verão para as Zonas 1 a 4 e sempre acionada para as demais Zonas) com pontuação 1.

|       | SP  | VRTQR | L23 | TN  | V90 | V45 | PTI | PTF |
|-------|-----|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Norte | 0.0 | 1.0   | 2.3 | 1.9 | 0.0 | 1.6 | 2.2 | 1.9 |
| Sul   | 0.0 | 1.0   | 0.0 | 0.6 | 0.0 | 1.7 | 0.7 | 0.0 |
| Leste | 0.0 | 1.0   | 1.0 | 0.0 | 0.3 | 1.0 | 1.8 | 1.4 |
| Oeste | 0.0 | 1.0   | 1.1 | 1.6 | 0.5 | 1.0 | 1.8 | 1.6 |

Da mesma maneira, os modelos TN, PTI e PTF, que poderiam receber a pontuação

máxima de 0,5 pontos, apresentaram valores que variam de 0 até 2,2. Já a veneziana V90, apresentou valores bastante inferiores aos atribuídos pelo RTQ-R. A veneziana V45, recebeu pontuações maiores que 1.

Estes resultados demonstram novamente a necessidade da definição de valores máximos de por orientação para esta Zona, devido à grande variação das pontuações dos dispositivos.

#### 4.5.1.3. Zona Bioclimática 3

Figura 74 **Escala de pontuação da variável Somb** na **Zona Bioclimática 3** para aberturas com dispositivos do tipo L23 (Dispositivo de proteção externo horizontal dimensionado de acordo com RTQ-R – Método das Latitudes); Venezianas do tipo V45 (área de abertura para iluminação de 45%) e V90 (Abertura máxima para iluminação); Dispositivos externos PTI (Placas inteiras) e PTF (Placas filetadas) dimensionados para sombrear o período de luz natural útil – 7h40 às 16h20, sendo o modelo SP (Sem proteção) com pontuação 0 e modelo VRTQR (Veneziana com acionamento no período de verão para as Zonas 1 a 4 e sempre acionada para as demais Zonas) com pontuação 1.

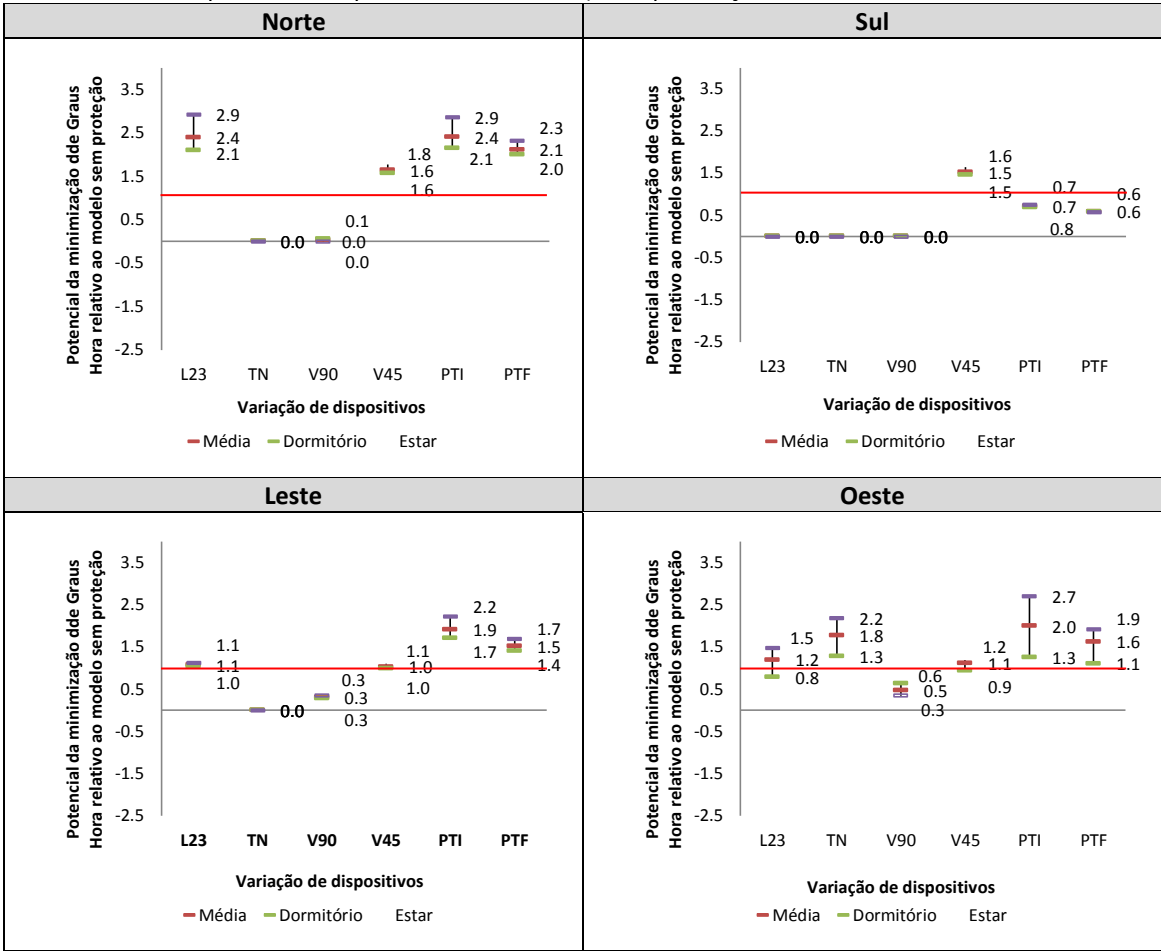


Tabela 25 Resumo da escala pontuação final **da variável Somb** na **Zona Bioclimática 3** para aberturas com dispositivos do tipo L23 (Dispositivo de proteção externo horizontal dimensionado de acordo com RTQ-R – Método das Latitudes); Venezianas do tipo V45 (área de abertura para iluminação de 45%) e V90 (Abertura máxima para iluminação); Dispositivos externos PTI (Placas inteiras) e PTF (Placas filetadas) dimensionados para sombrear o período de luz natural útil – 7h40 às 16h20, sendo o modelo SP (Sem proteção) com pontuação 0 e modelo VRTQR (Veneziana com acionamento no período de verão para as Zonas 1 a 4 e sempre acionada para as demais Zonas) com pontuação 1.

|       | SP  | VRTQR | L23 | TN  | V90 | V45 | PTI | PTF |
|-------|-----|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Norte | 0.0 | 1.0   | 2.4 | 0.0 | 0.0 | 1.6 | 2.4 | 2.1 |
| Sul   | 0.0 | 1.0   | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.5 | 0.7 | 0.6 |
| Leste | 0.0 | 1.0   | 1.0 | 0.0 | 0.3 | 1.0 | 1.9 | 1.5 |
| Oeste | 0.0 | 1.0   | 1.2 | 1.8 | 0.5 | 1.1 | 2.0 | 1.6 |

As pontuações da Zona Bioclimática 3 não diferem muito daquelas apresentadas na ZB2, porém, observa-se que, para aqueles modelos em que o sombreamento não é exigido, ocorrem as maiores diferenças de valores entre Zonas. Os modelos L23, TN e V90 para sul e TN para norte e leste não apresentaram exigência de sombreamento, recebendo a pontuação 0. Os dispositivos passíveis de receber a nota máxima de 1, ou seja, as venezianas, apresentaram resultados bastante variados por orientação. A V45, para leste e oeste aproximou à pontuação para venezianas do RTQ-R, porém para norte e sul, esta pontuação chegou a 1,6. Os modelos com pontuação pelo RTQ-R de até 0,5 apresentaram variações na pontuação de 0 (quando não há indicação de proteção solar) a 2,4. O dispositivo L23 também apresentou desempenhos superiores à nota do RTQ-R (0,2), alcançando valores de até 2,4 para orientação norte. Estes resultados demonstram a necessidade da redefinição de valores de pontuação por orientação para esta Zona devido a grande variação das pontuações dos dispositivos em função da tipologia e orientação.

#### 4.5.1.4. Zona Bioclimática 4

Figura 75 **Escala de pontuação da variável Somb** na **Zona Bioclimática 4** para aberturas com dispositivos do tipo L23 (Dispositivo de proteção externo horizontal dimensionado de acordo com RTQ-R – Método das Latitudes); Venezianas do tipo V45 (área de abertura para iluminação de 45%) e V90 (Abertura máxima para iluminação); Dispositivos externos PTI (Placas inteiras) e PTF (Placas filetadas) dimensionados para sombrear o período de luz natural útil – 7h40 às 16h20, sendo o modelo SP (Sem proteção) com pontuação 0 e modelo VRTQR (Veneziana com acionamento no período de verão para as Zonas 1 a 4 e sempre acionada para as demais Zonas) com pontuação 1.

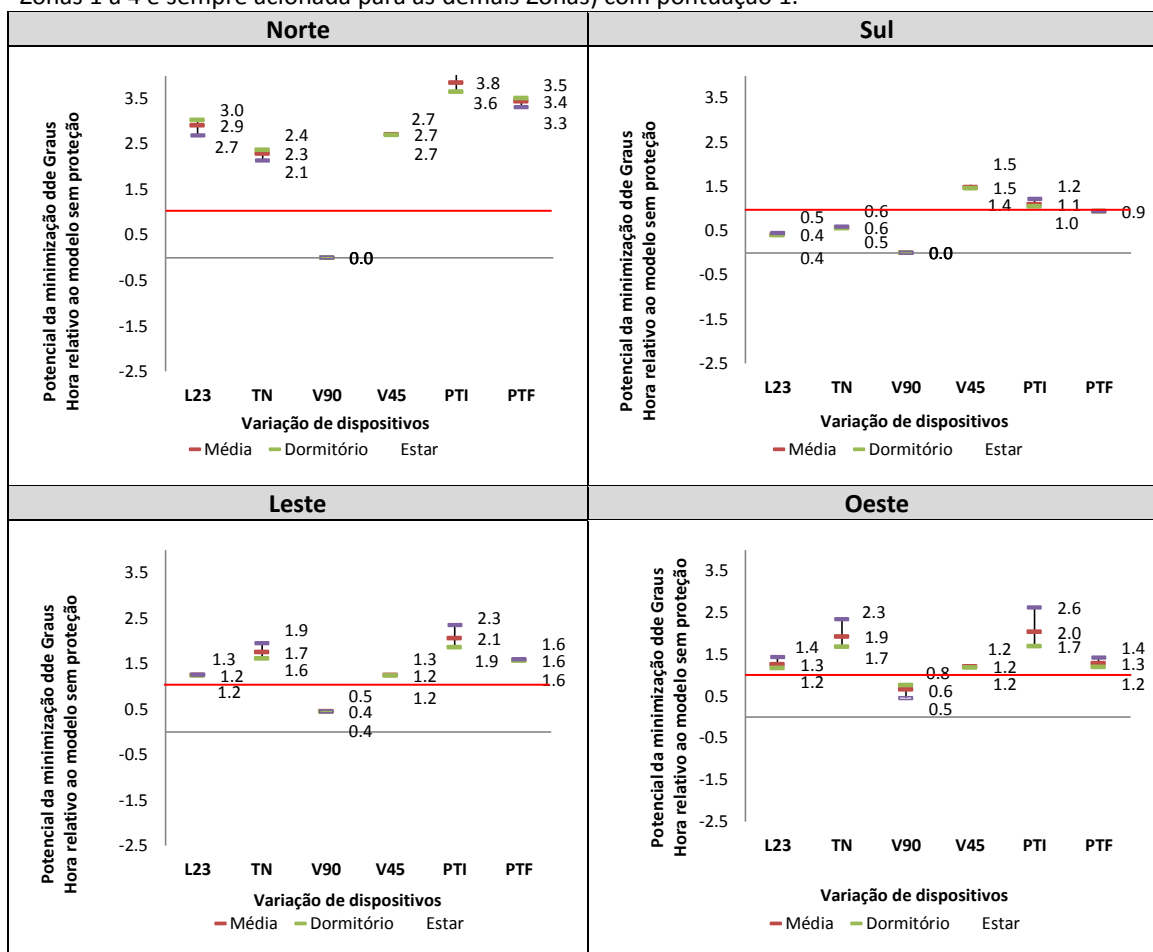


Tabela 26 Resumo da escala de pontuação final da variável **Somb** na **Zona Bioclimática 4** para aberturas com dispositivos do tipo L23 (Dispositivo de proteção externo horizontal dimensionado de acordo com RTQ-R – Método das Latitudes); Venezianas do tipo V45 (área de abertura para iluminação de 45%) e V90 (Abertura máxima para iluminação); Dispositivos externos PTI (Placas inteiras) e PTF (Placas filetadas) dimensionados para sombrear o período de luz natural útil – 7h40 às 16h20, sendo o modelo SP (Sem proteção) com pontuação 0 e modelo VRTQR (Veneziana com acionamento no período de verão para as Zonas 1 a 4 e sempre acionada para as demais Zonas) com pontuação 1.

|       | SP  | VRTQR | L23 | TN  | V90 | V45 | PTI | PTF |
|-------|-----|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Norte | 0.0 | 1.0   | 0.1 | 2.3 | 0.0 | 2.7 | 3.8 | 3.4 |
| Sul   | 0.0 | 1.0   | 0.4 | 0.6 | 0.0 | 1.5 | 1.1 | 0.9 |
| Leste | 0.0 | 1.0   | 1.2 | 1.8 | 0.4 | 1.2 | 2.1 | 1.6 |
| Oeste | 0.0 | 1.0   | 1.3 | 1.9 | 0.7 | 1.2 | 2.0 | 1.3 |

Os resultados da Zona Bioclimática 4, apresentaram as maiores pontuações, alcançando valores de até 3,8 para dispositivos que receberiam até 0,5 pelo RTQ-R. Este potencial foi alcançado pelo modelo PTF. Porém, os demais modelos, como PTI e TN, também apresentaram grandes pontuações, principalmente para as orientações leste, oeste e norte. O modelo L23 apresentou pontuações de 0,1 e 1,3, valores, em sua maioria, superiores aos do Regulamento (0,2).

Dentre todos os modelos de dispositivos, apenas a veneziana V90 não apresentou necessidade de sombreamento e recebeu a pontuação de 0 para orientação sul. Observa-se que, apesar de o modelo veneziana receber a pontuação máxima pelo RTQ-R, o modelo V90 apresentou sempre pontuações inferiores a 1. Para a veneziana V45, os valores foram sempre maiores que a pontuação prevista pelo Regulamento.

#### 4.5.1.5. Zona Bioclimática 6 a 8

Os resultados das pontuações para as Zonas 6 a 8 foram agrupadas, uma vez que apresentaram pontuações bastante próximas e, por isso, passíveis de serem compiladas juntas (Figura 76 e Tabela 27 ). Nota-se que o dispositivo L23, apresentou pontuações maiores que as determinadas pelo RTQ-R ,de 0,2, alcançando valores entre 0,3 até 1,2.

Figura 76 **Escala de pontuação da variável Somb** nas **Zonas Bioclimáticas 6 a 8** para aberturas com dispositivos do tipo L23 (Dispositivo de proteção externo horizontal dimensionado de acordo com RTQ-R – Método das Latitudes); Venezianas do tipo V45 (área de abertura para iluminação de 45%) e V90 (Abertura máxima para iluminação); Dispositivos externos PTI (Placas inteiras) e PTF (Placas filetadas) dimensionados para sombrear o período de luz natural útil – 7h40 às 16h20, sendo o modelo SP (Sem proteção) com pontuação 0 e modelo VRTQR (Veneziana com acionamento no período de verão para as Zonas 1 a 4 e sempre acionada para as demais Zonas) com pontuação 1.

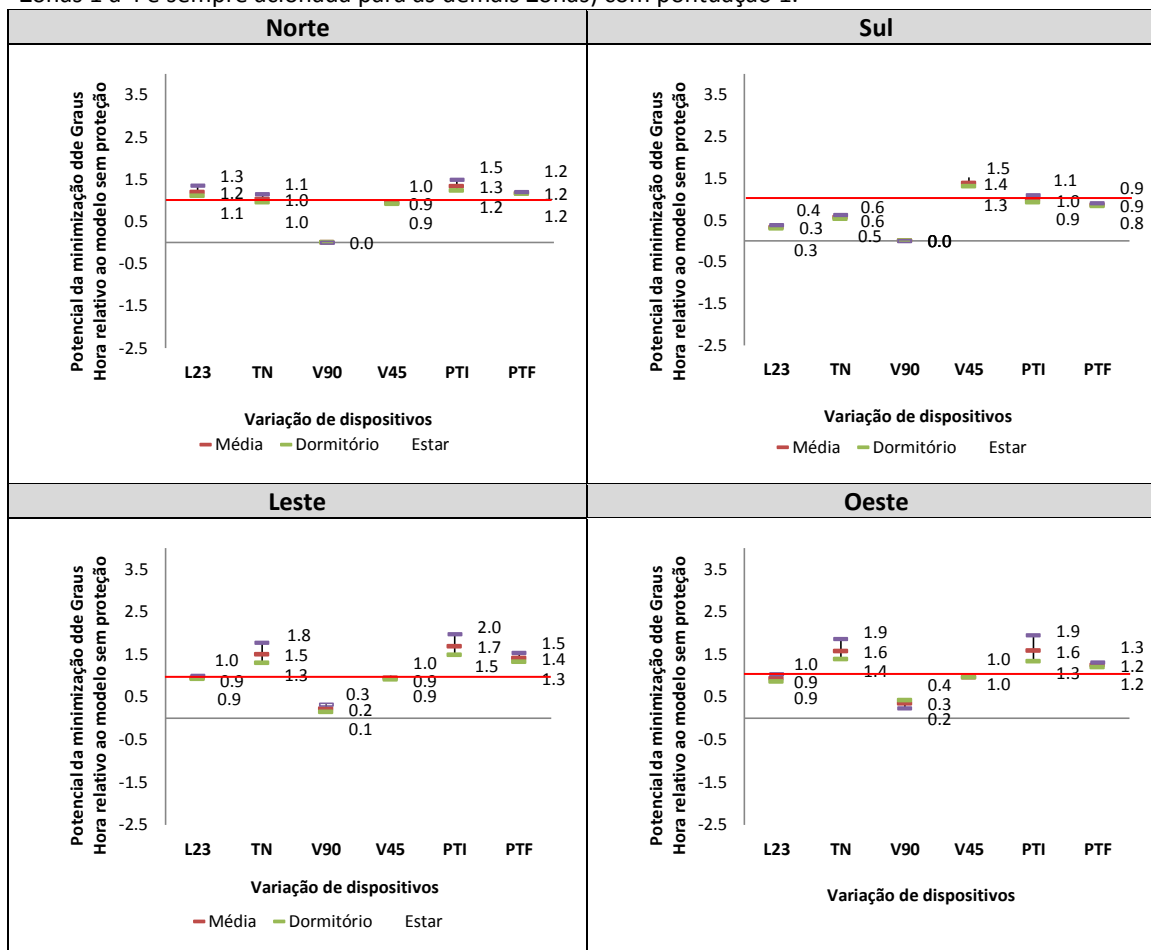


Tabela 27 Resumo da escala média de pontuação final **da variável Somb** nas **Zonas Bioclimáticas 6 a 8** para aberturas com dispositivos do tipo L23 (Dispositivo de proteção externo horizontal dimensionado de acordo com RTQ-R – Método das Latitudes); Venezianas do tipo V45 (área de abertura para iluminação de 45%) e V90 (Abertura máxima para iluminação); Dispositivos externos PTI (Placas inteiras) e PTF (Placas filetadas) dimensionados para sombrear o período de luz natural útil – 7h40 às 16h20, sendo o modelo SP (Sem proteção) com pontuação 0 e modelo VRTQR (Veneziana com acionamento no período de verão para as Zonas 1 a 4 e sempre acionada para as demais Zonas) com pontuação 1.

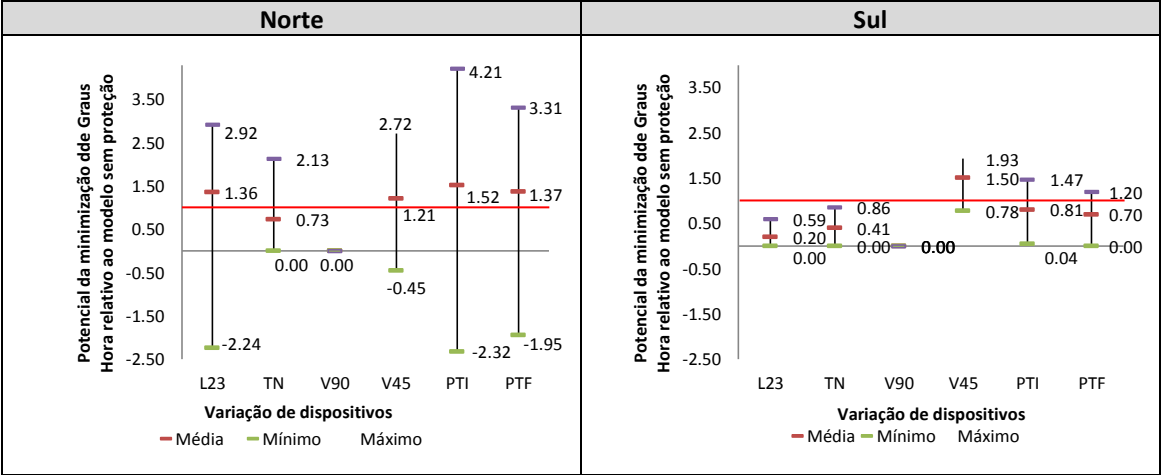
|       | SP   | VRTQR | L23 | TN  | V90 | V45 | PTI | PTF |
|-------|------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Norte | 0.00 | 1.0   | 1.2 | 0.8 | 0.0 | 0.9 | 1.3 | 1.2 |
| Sul   | 0.00 | 1.0   | 0.3 | 0.6 | 0.0 | 1.4 | 1.0 | 0.9 |
| Leste | 0.00 | 1.0   | 1.0 | 1.5 | 0.2 | 1.0 | 1.7 | 1.4 |
| Oeste | 0.00 | 1.0   | 0.9 | 1.6 | 0.3 | 1.0 | 1.6 | 1.2 |

Tal como constatado nas outras orientações, os dispositivos com pontuações de até 0,5 pelo RTQ-R, apresentam notas entre 0,6 a 1,7. A veneziana V45 apresentou valores compatíveis à pontuação do regulamento (1,0), com valores variando de 0,9 a 1,4. Já a veneziana V90 não apresenta a mesma proximidade com valores do RTQ-R, ficando entre 0,2 a 0,3.

Os resultados apresentados pelas Figura 72 a Figura 76 demonstram, em geral, uma incompatibilidade dos valores resultantes das simulações aos valores praticados pelo RTQ-R. Nota-se que, muitas vezes, os resultados das simulações receberam pontuações significativamente superiores à máxima atribuída às venezianas. Outro aspecto importante a destacar é que as pontuações variam significativamente entre as Zonas Bioclimáticas e orientação solar, e, por isso, observa-se a necessidade de se adotar valores de pontuação setorizada por zoneamento e orientação solar.

Contudo, com intuito de simplificar os resultados e compilar as informações, foi gerada uma figura com as médias encontradas por dispositivo para todas as Zonas Bioclimáticas (Figura 77).

Figura 77 **Escala de pontuação da variável Somb em todas as Zonas Bioclimáticas** para aberturas com dispositivos do tipo L23 (Dispositivo de proteção externo horizontal dimensionado de acordo com RTQ-R – Método das Latitudes); Venezianas do tipo V45 (área de abertura para iluminação de 45%) e V90 (Abertura máxima para iluminação); Dispositivos externos PTI (Placas inteiras) e PTF (Placas filetadas) dimensionados para sombrear o período de luz natural útil – 7h40 às 16h20, sendo o modelo SP (Sem proteção) com pontuação 0 e modelo VRTQR (Veneziana com acionamento no período de verão para as Zonas 1 a 4 e sempre acionada para as demais Zonas) com pontuação 1.



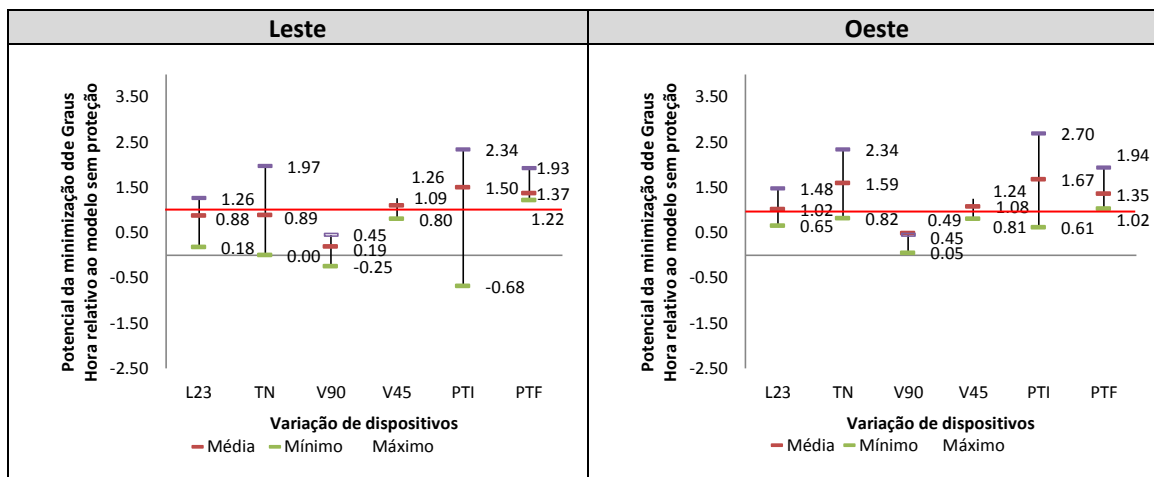


Tabela 28 Resumo da escala de pontuação final **Escala de pontuação da variável *Somb* em todas as Zonas Bioclimáticas** para aberturas com dispositivos do tipo L23 (Dispositivo de proteção externo horizontal dimensionado de acordo com RTQ-R – Método das Latitudes); Venezianas do tipo V45 (área de abertura para iluminação de 45%) e V90 (Abertura máxima para iluminação); Dispositivos externos PTI (Placas inteiras) e PTF (Placas filetadas) dimensionados para sombrear o período de luz natural útil – 7h40 às 16h20, sendo o modelo SP (Sem proteção) com pontuação 0 e modelo VRTQR (Veneziana com acionamento no período de verão para as Zonas 1 a 4 e sempre acionada para as demais Zonas) com pontuação 1.

|       | SP  | VRTQR | L23 | TN  | V90 | V45 | PTI | PTF |
|-------|-----|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Norte | 0.0 | 1.0   | 1.4 | 0.7 | 0.0 | 1.2 | 1.5 | 1.4 |
| Sul   | 0.0 | 1.0   | 0.2 | 0.4 | 0.0 | 1.5 | 0.8 | 0.7 |
| Leste | 0.0 | 1.0   | 1.0 | 0.9 | 0.2 | 1.5 | 2.1 | 1.9 |
| Oeste | 0.0 | 1.0   | 1.0 | 1.0 | 0.5 | 1.1 | 1.5 | 1.4 |

Entende-se que esta pesquisa apresenta importante avaliação para possível alteração dos índices de pontuação do regulamento atual. Contudo, cabe lembrar que é necessário compreender as implicações desta variável nas equações do método prescritivo, e, portanto as pontuações aqui estimadas podem não responder bem ao serem aplicadas nas equações.

#### 4.5.2. Discussão acerca da variável *Somb* nas equações do método prescritivo do RTQ-R

Os valores de *Somb* discutidos no item anterior são inseridos nas equações de cálculo dos indicadores numéricos para resfriamento e aquecimento, conforme indicados no exemplo das equações 12, 13 e 14. Cabe lembrar que os valores atribuídos a *Somb* variam de 0 a 1 sendo 1 para venezianas e 0 para aberturas sem proteção solar.

$$\begin{aligned}
\text{GHR} = & (a) + (b \times \text{CTbaixa}) + (c \times \text{PD} / \text{AUamb}) + (d \times \text{Ucob} \times \alpha_{\text{cob}} \times \text{cob} \times \text{AUamb}) \\
& + [e \times (\text{Ucob} \times \alpha_{\text{cob}} / \text{CTcob}) \times \text{AUamb}] + (f \times \text{somb}) + (g \times \text{CTcob}) + (h \times \alpha_{\text{cob}}) \\
& + (i \times \text{AAbO} \times (1 - \text{somb})) + (j \times \text{isol}) + (k \times \text{solo}) + (l \times \text{AbS}) \\
& + [m \times (\text{Upar} \times \alpha_{\text{par}} / \text{CTpar}) \times \text{SomApar}] + (n \times \text{Fvent}) + (o \times \text{CTpar}) + (p \times \text{pil}) \\
& + (q \times \text{cob} \times \text{AUamb}) + (r \times \text{vid}) + (s \times \text{cob}) + (t \times \text{AbO}) \\
& + (u \times \text{AAbN} \times \text{somb}) + (v \times \text{AUamb}) + (w \times \text{PD}) + (x \times \text{solo} \times \text{AUamb}) \\
& + (y \times \text{AAbL} \times \text{Fvent}) + (z \times \text{APambN} \times \alpha_{\text{par}}) + (aa \times \text{APambL} \times \text{Upar} \times \alpha_{\text{par}}) \\
& + (ab \times \text{APambL} \times \text{Upar}) + (ac \times \text{AAbS} \times \text{somb}) + (ad \times \text{AAbO} \times \text{somb}) \\
& + (ae \times \text{APambS} \times \text{Upar} \times \alpha_{\text{par}}) + (af \times \alpha_{\text{par}}) + (ag \times \text{CTalta}) + (ah \times \text{Upar}) \\
& + (ai \times \text{AAbS} \times \text{Fvent}) + (aj \times \text{APambO} \times \text{Upar} \times \alpha_{\text{par}}) + (ak \times \text{APambO} \times \text{Upar}) \\
& + (al \times \text{PambN}) + (am \times \text{AbN})
\end{aligned}$$

Equação 12 Indicador de Graus-hora para resfriamento para a Zona Bioclimática 1 para o cálculo do equivalente numérico para resfriamento.

$$\begin{aligned}
\text{CA} = & [(a) + (\text{PD} \cdot \text{AUamb} \cdot b) + (\text{pil} \cdot \text{AUamb} \cdot c) + (\text{isol} \cdot d) + (\text{AparInt} \cdot \text{CTpar} \cdot e) \\
& + (\text{solo} \cdot \text{AUamb} \cdot f) + ((\text{Upar} \cdot \alpha_{\text{par}} / \text{CTpar}) \cdot \text{SomAparext} \cdot g) + (\text{cob} \cdot \text{AUamb} \cdot h) \\
& + (\text{AAbS} \cdot \text{Uvid} \cdot i) + (\text{Ucob} \cdot \text{Acob} \cdot \text{cob} \cdot \text{AUamb} \cdot j) + (\alpha_{\text{par}} \cdot k) + (\text{AAbL} \cdot \text{Uvid} \cdot l) \\
& + (\text{Upar} \cdot m) + (\text{APambS} \cdot n) + (\text{Fvent} \cdot o) + (\text{CTbaixa} \cdot p) + (\text{AparInt} \cdot q) \\
& + (\text{SomAparext} \cdot \text{CTpar} \cdot r) + (\text{vid} \cdot s) + ((\text{Ucob} \cdot \alpha_{\text{cob}} / \text{CTcob}) \cdot \text{AUamb} \cdot t) \\
& + (\text{SomAparext} \cdot u) + (\text{APambN} \cdot \alpha_{\text{par}} \cdot v) + (\text{PD} \cdot w) + (\text{somb} \cdot x) + \\
& (\text{APambS} \cdot \alpha_{\text{par}} \cdot y) + (\text{Ucob} \cdot z) + (\text{CTcob} \cdot aa) + (\text{CTpar} \cdot ab) + (\text{AAbS} \cdot ac) \\
& + (\text{AAbN} \cdot \text{Fvent} \cdot ad) + (\text{APambN} \cdot \text{Upar} \cdot ae) + (\text{APambS} \cdot \text{Upar} \cdot af) \\
& + (\text{AAbO} \cdot \text{Fvent} \cdot ag) + (\text{cob} \cdot ah) + (\alpha_{\text{cob}} \cdot ai) + (\text{AAbO} \cdot \text{Uvid} \cdot aj) \\
& + (\text{AAbN} \cdot \text{Uvid} \cdot ak) + (\text{APambO} \cdot \alpha_{\text{par}} \cdot al) + (\text{APambL} \cdot \alpha_{\text{par}} \cdot am) + (\text{APambN} \cdot an) \\
& + (\text{AAbL} \cdot \text{Fvent} \cdot ao) + (\text{AAbS} \cdot \text{Fvent} \cdot ap) + (\text{solo} \cdot aq) + (\text{pil} \cdot ar) + (\text{AAbL} \cdot as) \\
& + (\text{AAbO} \cdot (1 - \text{somb}) \cdot at) + (\text{APambN} \cdot \text{Upar} \cdot \alpha_{\text{par}} \cdot au) + (\text{APambS} \cdot \text{Upar} \cdot \alpha_{\text{par}} \cdot av) \\
& + (\text{AAbO} \cdot aw) + (\text{AAbO} \cdot \text{somb} \cdot ax) + (\text{PambS} \cdot ay) + (\text{AAbN} \cdot (1 - \text{somb}) \cdot az) \\
& + (\text{AAbN} \cdot \text{somb} \cdot ba) + (\text{AAbN} \cdot bb)] / (\text{AUamb} \cdot 1000)
\end{aligned}$$

Equação 13 Indicador de consumo relativo a aquecimento para a Zona Bioclimática 1 para o cálculo do equivalente numérico para aquecimento

$$\begin{aligned}
\text{CR} = & [(a) + (b \cdot \text{somb}) + (c \cdot \alpha_{\text{cob}}) + (d \cdot \text{PD}) + [e \cdot \text{AAbO} \cdot (1 - \text{somb})] + \\
& (f \cdot \alpha_{\text{par}}) + (g \cdot \text{solo}) + (h \cdot \text{CTbaixa}) + (i \cdot \text{AAbL}) + (j \cdot \text{isol}) + (k \cdot \text{SomAparext}) \\
& + [l \cdot (\text{Ucob} \cdot \alpha_{\text{cob}} / \text{CTcob}) \cdot \text{AUamb}] + [m \cdot (\text{Upar} \cdot \alpha_{\text{par}} / \text{CTpar}) \cdot \text{SomAparext}] \\
& + (n \cdot \text{cob}) + (o \cdot \text{cob} \cdot \text{AUamb}) + (p \cdot \text{pil}) + [q \cdot \text{AAbL} \cdot (1 - \text{somb})] \\
& + (r \cdot \text{AparInt} \cdot \text{CTpar}) + (s \cdot \text{CTcob}) + [t \cdot \text{AAbN} \cdot (1 - \text{somb})] + (u \cdot \text{APambO} \cdot \alpha_{\text{par}}) \\
& + (v \cdot \text{APambO}) + (w \cdot \text{APambL} \cdot \alpha_{\text{par}}) + (x \cdot \text{APambL}) + (y \cdot \text{CTalta}) + (z \cdot \text{AUamb}) \\
& + (aa \cdot \text{UCOB}) + (ab \cdot \text{Ucob} \cdot \alpha_{\text{cob}} \cdot \text{cob} \cdot \text{AUamb}) + (ac \cdot \text{AAbS} \cdot \text{somb}) \\
& + (ad \cdot \text{Upar}) + (ae \cdot \text{APambO} \cdot \text{Upar} \cdot \alpha_{\text{par}}) + (af \cdot \text{APambL} \cdot \text{Upar} \cdot \alpha_{\text{par}}) \\
& + (ag \cdot \text{APambN} \cdot \text{Upar} \cdot \alpha_{\text{par}}) + (ah \cdot \text{APambS} \cdot \text{Upar} \cdot \alpha_{\text{par}}) + (ai \cdot \text{APambN} \cdot \text{Upar}) \\
& + (aj \cdot \text{APambS} \cdot \text{Upar}) + [ak \cdot \text{AAbS} \cdot (1 - \text{somb})] + (al \cdot \text{AparInt}) + (am \cdot \text{Fvent}) \\
& + (an \cdot \text{AAbO} \cdot \text{Uvid}) + (ao \cdot \text{PambL}) + (ap \cdot \text{vid}) + (aq \cdot \text{PD} / \text{AUamb}) \\
& + (ar \cdot \text{SomAparext} \cdot \text{CTpar}) + (as \cdot \text{CTpar}) + (at \cdot \text{pil} \cdot \text{AUamb}) + (au \cdot \text{AAbS}) \\
& + (av \cdot \text{PambO}) + (aw \cdot \text{AAbO} \cdot \text{somb}) + (ax \cdot \text{AAbL} \cdot \text{somb}) \\
& + (ay \cdot \text{AAbN} \cdot \text{Fvent}) + (az \cdot \text{PambS}) + (ba \cdot \text{AbO}) + (bb \cdot \text{AAbS} \cdot \text{Fvent}) \\
& + (bc \cdot \text{AAbO} \cdot \text{Fvent}) + (bd \cdot \text{AAbL} \cdot \text{Fvent}) + (be \cdot \text{AbL})] / (\text{AUamb} \cdot 1000)
\end{aligned}$$

Equação 14 Indicador de consumo relativo a resfriamento para a Zona Bioclimática 1 para o cálculo do equivalente numérico para consumo por resfriamento

Uma vez calculados os valores de equivalente numérico de resfriamento e aquecimento por ambiente, é feita uma média ponderada pela área dos ambientes para a determinação dos equivalentes numéricos da unidade habitacional. Logo, estes valores são inseridos na equação que pondera o peso dos equivalentes. O resultado desta equação indica a classificação da unidade habitacional.

Conforme evidenciado nos exemplos acima, a variável *Somb* não é multiplicada pelas áreas de abertura de todas as orientações. Sendo assim, entende-se que a variável não apresenta o mesmo peso para todas as orientações. Na Zona Bioclimática 1, por exemplo, o valor de *Somb* para leste não tem impacto como nas demais orientações, nas quais o valor da variável é multiplicado pelas respectivas áreas de abertura na equação.

As tabelas de 28 a 30 apresentam em quais orientações a variável *Somb* é multiplicada pela área da abertura. O sombreamento de cor mais clara indica que a variável é multiplicada apenas uma vez, já o sombreamento de cor escura, indica que a variável aparece multiplicada pela área de abertura daquela orientação em dois momentos da equação. É possível observar, também, que em todas as equações há a presença de um fator *Somb* que não é multiplicado pela área de abertura de uma orientação solar específica.

Tabela 29 Indicação da presença da variável *Somb* como fator multiplicador da área de abertura para as orientações Norte, Sul, Leste e Oeste nas **equações de equivalente numérico de Graus-hora de resfriamento** para todas as Zonas Bioclimáticas.

| Equações de GH resfriamento |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                             | ZB1 | ZB2 | ZB3 | ZB4 | ZB6 | ZB7 | ZB8 |
| Norte                       |     |     |     |     |     |     |     |
| Sul                         |     |     |     |     |     |     |     |
| Leste                       |     |     |     |     |     |     |     |
| Oeste                       |     |     |     |     |     |     |     |

Tabela 30 Indicação da presença da variável *Somb* como fator multiplicador da área de abertura para as orientações Norte, Sul, Leste e Oeste nas **equações de equivalente numérico de Consumo de aquecimento** para todas as Zonas Bioclimáticas.

| Equações de Consumo Aquecimento |     |     |     |     |     |     |     |
|---------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                                 | ZB1 | ZB2 | ZB3 | ZB4 | ZB6 | ZB7 | ZB8 |
| Norte                           |     |     |     |     | N/A | N/A | N/A |
| Sul                             |     |     |     |     | N/A | N/A | N/A |
| Leste                           |     |     |     |     | N/A | N/A | N/A |
| Oeste                           |     |     |     |     | N/A | N/A | N/A |

\*N/A- Não se aplica. Não há equações de consumo para aquecimento para estas Zonas.

Tabela 31 Indicação da presença da variável *Somb* como fator multiplicador da área de abertura para as orientações norte, sul, este e Oeste nas **equações de equivalente numérico de Consumo para resfriamento** para todas as Zonas Bioclimáticas.

| Equações de consumo para resfriamento |     |     |     |     |     |     |     |
|---------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                                       | ZB1 | ZB2 | ZB3 | ZB4 | ZB6 | ZB7 | ZB8 |
| Norte                                 |     |     |     |     |     |     |     |
| Sul                                   |     |     |     |     |     |     |     |
| Leste                                 |     |     |     |     |     |     |     |
| Oeste                                 |     |     |     |     |     |     |     |

As tabelas acima demonstram que a presença de sombreamento nas aberturas por vezes não é avaliado em algumas orientações solares. Por exemplo, na equação para graus-hora de resfriamento da Tabela 29 para a ZB3, a variável *Somb* é considerada diretamente, uma vez que entra como uma variável independente, apenas para as orientações norte, sul e oeste. Pode-se perceber ainda que, para esta mesma Zona, a proteção solar para a orientação norte é considerada em dois momentos da equação.

Tal ocorrência é notória em diversas Zonas Bioclimáticas, porém quando comparamos a contribuição da presença de sombreamento a partir dos resultados da simulação computacional, conforme apresentado no item 4.1 deste capítulo, notamos que, com exceção da orientação norte na Zona Bioclimática 1, a presença de sombreamento sempre minimiza a quantidade de graus-hora excedidos favorecendo a melhoria do conforto térmico no ambiente. Sendo assim, entende-se que a variável *Somb* deveria ser relacionada à área da abertura na equação para todas as orientações.

Se observarmos a Tabela 30 nota-se que não há ponderação pelas áreas das aberturas

da variável *Somb* para aquecimento para as Zonas 3 e 4, apesar de haver indicação pelo Regulamento quanto ao cálculo de consumo por aquecimento. Para as Zonas 1 e 2 a variável *Somb* é multiplicada nas equações de consumo por aquecimento na aberturas nas orientações norte e oeste (Zona 1) e sul (Zona 2). Este resultado corrobora o constatado nesta dissertação de que o sombreamento apresenta pouco impacto quanto a minimização de graus-hora para aquecimento para as Zonas 3 e 4 e tende a aumentar o desconforto por frio nas Zonas 1 e 2. Contudo, as equações divergem dos resultados encontrados quando o sombreamento é contabilizado apenas para algumas orientações solares.

A Tabela 31 apresenta a presença da variável *Somb* na equação de consumo para resfriamento. Esta equação se aplica apenas para a computação da pontuação para bonificação em ambiente condicionado artificialmente. Nota-se que, tal qual observado pelas outras equações de indicador numérico, não há ponderação pela variável *Somb* nas áreas de aberturas de algumas orientações. Isto acontece nas Zonas 3, 4, 6 e 8.

Entende-se que a investigação do peso da variável *Somb* nas equações de cálculo do equivalente numérico do ambiente é um aspecto importante a ser considerado em relação à avaliação da presença de sombreamento em aberturas pelo RTQ-R. Deve-se investigar a necessidade de inclusão da variável *somb* como fator multiplicador para as orientações faltantes. Todavia, ressalta-se que não se trata de um escopo previsto nesta dissertação e então, merece ser melhor investigado. Entende-se este, como tema indicativo de trabalhos futuros.

## 5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresenta as principais conclusões desta dissertação, seguidas das limitações e recomendações para trabalhos futuros, que possam dar continuidade a este estudo, aprofundando alguns dos pontos abordados.

### 5.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Diversas qualidades são atribuídas ao uso da luz natural em edificações, entre elas, a qualidade ambiental dos espaços, saúde dos usuários e eficiência energética. Este trabalho procurou contribuir com a mensuração dos aspectos positivos relativos à eficiência energética com o uso da luz natural em ambientes residenciais, de forma a incentivar seu uso. Para tanto, salienta-se a importância de integrar a luz natural à utilização de dispositivos de proteção solar, para que se possa garantir melhores desempenhos aos ambientes. No entanto, o dimensionamento de proteções solares é ainda um tema difícil para a grande maioria dos profissionais e decorre, muitas vezes, do desconhecimento técnico sobre o assunto. Como aspecto incentivador da apropriação destes dispositivos, é fundamental o desenvolvimento de instrumentos que orientem e facilitem o seu processo de projeto, como manuais, normas e metodologias de avaliação de desempenho. A simplificação da avaliação dos elementos de proteção solar pelo método prescritivo do RTQ-R possui o mérito de facilitar o seu uso nos projetos e vinculá-lo à redução do consumo de energia. Porém, ao subvalorizar o potencial de sombreamento de dispositivos de proteção solar e incentivar o uso de venezianas para obtenção da pontuação máxima pela variável *Somb*, o método perde a qualidade de disseminar o uso da iluminação natural dentro dos edifícios e de proporcionar maior redução do consumo de energia. Por isso, considera-se que merece ser revisto neste aspecto.

Sendo assim, por meio da discussão dos métodos existentes no Regulamento e da construção de um conjunto de resultados comparativo entre diferentes modelos de dispositivos de proteção solar, o presente trabalho visou contribuir para o aperfeiçoamento da avaliação da presença de sombreamento no RTQ-R como parte do

projeto ECV DTP 002/2011. Este trabalho buscou investigar o desempenho de diferentes dispositivos de proteção solar em relação ao aspecto luminoso e térmico dos ambientes, por meio de simulações computacionais.

A revisão bibliográfica contribuiu para contextualizar as especificidades da iluminação natural no Brasil e no mundo, assim como entender as características dos dispositivos de proteção quanto ao impacto no consumo de energia de ambientes internos. Percebeu-se a necessidade de levantar e discutir os requisitos relacionados ao desempenho térmico, e a iluminação natural e artificial de um ambiente interno, e relacionar o dimensionamento dos dispositivos a casos aplicáveis de sombreamento em residências. Foram apresentados estudos recentemente desenvolvidos e relacionados ao tema.

Os processos metodológicos adotados contribuíram para reconhecer os requisitos a serem considerados ou alterados da pesquisa base (LABEEE, 2011b), utilizados para elaboração das equações do RTQ-R. Nesta etapa foram definidos os pontos de análise e questões a serem consideradas para formulação das simulações computacionais. Foram desenvolvidas 1024 simulações, compostas por 128 ambientes simulados com a variação de sete dispositivos de proteção e um modelo sem proteção.

Foram investigadas variações de orientação, Zona Bioclimática e tipo de ambiente (dormitório e estar). Dentre os dispositivos analisados, foram investigados os métodos de dimensionamento orientados pelo RTQ-R (L23 e TN), três modelos de venezianas (VRTQ-R, V45 e V90) e dois modelos de dispositivos dimensionados para sombrear as horas de disponibilidade de luz natural considerados úteis (PTI e PTF), conforme discutido por Guedes (2012).

Para estas análises foram escolhidas ferramentas computacionais utilizadas na análise do desempenho luminoso e termoenergético de edificações, sendo o *Energy Plus* uma dessas ferramentas. Entretanto, como visto na literatura, o *EnergyPlus* tem apresentado limitações na simulação de iluminação natural. Os valores de iluminância tendem a ser superestimados e interferem na predição do consumo energético total. Sendo assim, conforme comprovada eficácia por demais autores, o uso de dois

softwares, *Daysim* e *EnergyPlus*, foi a solução encontrada para resolver a limitação existente no *EnergyPlus*. O *Daysim* foi utilizado para a análise anual de iluminação natural e rotina de acionamento das venezianas, e o *EnergyPlus* para a verificação do desempenho energético da edificação. O *Daysim* gera automaticamente um arquivo de dados que contém a rotina de acionamento da iluminação artificial e das venezianas. Esta rotina é importada pelo *EnergyPlus* e são gerados resultados termoenergéticos, que foram apresentados nessa dissertação.

Os resultados foram divididos em cinco focos de análise contendo o dimensionamento dos dispositivos, análise de iluminação natural, desempenho térmico, consumo de energia e por fim uma discussão acerca da avaliação de sombreamento do RTQ-R.

## 5.2. ANÁLISE DE RESULTADOS

Os resultados apresentados nesta dissertação permitiram chegar a uma série de considerações acerca do desempenho dos dispositivos de proteção. Dentre elas, destaca-se a de que o impacto do sistema de sombreamento em aberturas é fortemente relacionado às características climáticas do local e orientação solar da abertura.

Em geral, os modelos com dispositivos orientados para sul, devido a pouca insolação nesta fachada, apresentaram as menores reduções quanto ao consumo de energia e graus-hora, quando comparados ao modelo sem proteção. Para oeste, a contribuição dos dispositivos de proteção foi mais efetiva devido à trajetória solar, que atinge a fachada oeste já com alturas solares menores e à ocorrência de insolação juntamente com temperaturas externas elevadas. Devido a estas características, o sistema de sombreamento atua barrando a radiação, a qual, quando sem proteção, atingiria maior profundidade do ambiente, aquecendo-o significativamente. Sendo assim, o sombreamento apresenta a característica de reduzir significativamente os efeitos de radiação nesta orientação. Para leste, a característica da trajetória solar é simétrica ao observado para oeste, porém, pela manhã tem-se temperaturas externas menores, e, assim, o sombreamento apresenta um impacto menor em relação ao desempenho do ambiente. Finalmente para norte, devido à característica de apresentar alturas solares

maiores, o efeito da proteção solar é menor que as de leste e oeste, uma vez que a insolação atinge menor profundidade no ambiente.

Mais especificamente, quando ao se observar os potenciais de economia de energia com o uso de sombreamento nas aberturas, nota-se que, para oeste, a redução de consumo em relação ao modelo sem proteção chega a 14,7%, enquanto para leste chega a 8,0%, para norte, a 6,5% e para sul, a 2,9%. Estes valores são compatíveis àqueles encontrados por Didoné e Bittencourt (2008) em estudo descrito no item 2.3.1 da Revisão Bibliográfica que demonstra que os dispositivos de proteção solar, quando utilizado em aberturas para fachada norte, possibilitam uma redução do consumo de energia decorrente do uso do sistema de ar-condicionado, com variações entre 2% e 6%.

Também é possível observar grande diferença de dimensionamento para obtenção de desempenho máximo para resfriamento ao comparar os métodos analisados entre si, considerando as mesmas condições de orientação e zoneamento bioclimático. Para cada método de dimensionamento utilizado foram notadas características específicas quanto ao seu desempenho luminoso, térmico e de consumo de energia.

O modelo L23, dimensionado de acordo com as equações do texto do RTQ, apresentaram bons desempenhos quanto à integração da luz natural ao ambiente (variações de apenas 2 a 5% de acionamento a mais que o modelo sem proteção SP). Quanto ao desempenho termoenergético, os melhores desempenhos acontecem principalmente quando orientado para oeste (reduções de graus-hora de até 26% em relação ao modelo sem proteção). Observa-se, ainda, que os modelos para leste e oeste, ainda que apresentem um ângulo fixo de sombreamento de 45°, demonstraram as maiores reduções de graus-hora e consumo de energia, quando comparados a dimensionamentos mais robustos. No entanto, para sul, o método L23 não apresentou necessidade de sombreamento para as Zonas Bioclimáticas 1, 2 e 3, ainda que dispositivos gerados por outros métodos demonstrem contribuição quanto à redução do consumo de energia e graus-hora para resfriamento quando há sombreamento.

Nota-se que o modelo L23 possui o mérito de apresentar uma forma facilitada de dimensionamento dos dispositivos. Contudo, é possível observar uma incompatibilidade de valores resultantes das simulações (pontuação média= 0,91) aos valores praticados pela avaliação da presença de sombreamento pelo RTQ-R (pontuação máxima = 0,2). É necessário ainda que o texto do método seja reformulado de forma a esclarecer o processo de dimensionamento e avaliação através de exemplos e justificativas, de forma a equalizar as pontuações recebidas pelo Regulamento.

O modelo PTF apresentou, junto ao modelo VRTQR, as maiores variações de acionamento da iluminação artificial (35% a 82%), uma vez que se comporta como uma veneziana fixa, devido a sua forma e aspecto escurecedor. Isto também pode ser notado ao comparar o modelo PTF ao PTI que demonstra que, para o mesmo dimensionamento, os acionamentos da iluminação artificial caíram para 35% a 50% das horas ocupadas. Tal fato indica que o uso de varandas parece ser uma boa solução para o sombreamento de edificações residenciais. Além disso, em relação ao desempenho térmico, o modelo de placas inteiras (PTI) também apresentou desempenhos superiores ao de placas filetadas (PTF). É importante destacar que o dimensionamento desses dispositivos foram os maiores para todas as Zonas e orientações. Cabe lembrar que, em decorrência do grande dimensionamento dos dispositivos, estes modelos apresentaram mais graus-hora de aquecimento identificados nas Zonas 1 e 2. Conclui-se, no entanto, que este método de sombreamento demonstrou o potencial máximo de minimização de graus-hora de resfriamento e consumo de energia com uso de dispositivos de proteção solar dentre os modelos simulados. Este resultado pode ser observado com mais clareza para leste e oeste.

O modelo TN, apresentou resultados bastante próximos aos modelos PTI e PTF. Contudo, não apresentou exigência de sombreamento para as Zonas 1 e 3 para as orientações norte, sul e leste. Ao comparar o desempenho dos demais dispositivos para a Zona Bioclimática 3, observa-se que a presença de sombreamento nas aberturas apresenta contribuição quanto a redução de graus-hora para resfriamento e

consumo de energia. Dessa forma, o método de TN não apresenta eficácia quanto ao seu dimensionamento para esta Zona.

Em relação às venezianas, pode-se perceber que quando são fechadas, a iluminação artificial é acionada. Sendo assim, notou-se que a carga de iluminação relativa ao modelo VRTQR é bastante superior quando comparada às demais venezianas. Observou-se que as venezianas V90 e V45 demonstraram pouco ou nenhum acionamento. Apenas para a orientação oeste, percebe-se um acionamento um pouco maior, alcançando valores de até 21% das horas ocupadas. Para sul, não houve acionamento dos modelos V90 e V45. Estes resultados podem ser justificados pelo fato de o sensor de acionamento das venezianas estarem localizado junto ao sensor de acionamento das luminárias, logo, longe da abertura e então pouco atingido pela insolação direta e brilhos excessivos. Entende-se, então, que para uma investigação mais aproximada dos desempenhos destes modelos de venezianas, é necessária a previsão de sensores mais próximos à abertura.

Ao compararmos os resultados de acionamento entre as venezianas V45 e V90, nota-se que a porcentagem de acionamento da veneziana V90 apresenta, aproximadamente, o dobro das horas de acionamento da veneziana V45. Conclui-se que tal fato está diretamente relacionado à área de abertura sujeita ao sombreamento móvel. A área de abertura da veneziana V90 é um pouco maior que o dobro da área de abertura da veneziana V45, o que justifica os resultados encontrados.

Cabe observar que o modelo VRTQR representa um comportamento passivo do usuário, uma vez que nele as venezianas são fechadas durante o dia durante todo o período de verão para as Zonas Bioclimáticas 1 a 4, e durante o ano todo para as Zonas Bioclimáticas 6 a 8. Esta constatação foi notada por Reinhart e Voss (2000). Cabe observar que, uma vez que as venezianas não provocam sombreamento durante o período de inverno, o modelo VRTQR e V90 são os únicos, entre os dispositivos, que não apresentaram resultados negativos para a Zona Bioclimática 1 quanto aos graus-hora para aquecimento. O modelo V45, apesar de não demonstrar acionamento no período de inverno para a Zona Bioclimática 1, possui uma folha fixa que diminui a

área envidraçada e, conseqüentemente, provoca melhores desempenhos, em relação às outras venezianas, quanto à minimização de graus-hora. O modelo VRTQR apresentou variações de 1 a 21%, o modelo V90 de 0 a 13% e o modelo V45 de -1 a 25%.

O modelo PTI variou de -13 a 42%, o modelo PTF de -10 a 31%, o modelo TN de 0 a 39 e o L23 de -12 a 26%. Nota-se que os modelos com proteções solares projetadas a partir da referência da carta solar, como os modelos PTI, PTF e TN, apresentam melhores desempenhos quando comparados aos modelos de proteção padronizados, como o L23 e as venezianas.

Os resultados das simulações permitiram observar grandes diferenças entre os ambientes de estar e dormitório. Observa-se que os ambientes de estar apresentaram maiores reduções de graus-hora que o ambiente de dormitório. Já em relação ao acionamento da iluminação, a constatação foi contrária. Isso nos permite concluir que a profundidade do ambiente apresenta grande influência quanto ao desempenho do modelo. Este aspecto foi estudado por Cintra (2011) e apresentado no item 2.2.2 da revisão bibliográfica. Para a elaboração das porcentagens de contribuição dos dispositivos, foram feitos uma média entre os desempenhos dos ambientes profundos e pouco profundos.

Os resultados relativos aos sistemas de iluminação artificial (Sensor-Usuário) e (Sensor-Automatizado) permitiram concluir que o modelo de acionamento automatizado pode consumir mais energia que aquele acionado pelo usuário manualmente uma vez ao dia. Isso acontece com dispositivos que provocam maior escurecimento no ambiente. O sistema automatizado, por apresentar a característica de ativação variável durante o dia, resulta em um maior consumo de energia que o sensor usuário, uma vez que o gasto para ativação do sistema supera os gastos previstos de manutenção da luz artificial ativada. No entanto, optou-se por utilizar o Sensor-Automatizado para avaliação do desempenho dos dispositivos, uma vez que este permite uma visualização mais precisa da necessidade de acionamento do sistema, ainda que o Sensor-Usuário retrate o comportamento de um usuário de forma mais próxima à realidade. Entende-se que a escolha do Sensor-Automatizado para a avaliação dos desempenhos dos

dispositivos foi bem sucedida por demonstrar uma visualização horária da necessidade de acionamento da luz artificial e permitir gerar valores percentuais de acionamento durante as horas ocupadas.

A partir das pontuações estimadas para a variável *somb* com os resultados das simulações, pode-se notar o peso dos dispositivos em relação aos modelos sem proteção e à veneziana VRTQ-R. Os resultados demonstram, no geral, uma incompatibilidade entre os valores resultantes das simulações e os valores praticados pela avaliação da presença de sombreamento pelo RTQ-R. Nota-se que, muitas vezes, os resultados das simulações receberam pontuações significativamente superiores à máxima atribuída às venezianas. Deve-se observar que esta variável foi inicialmente estudada como uma variável binária que representava a presença (1) ou não (0) de proteção solar na abertura e que para a equação de regressão foram simulados casos com e sem veneziana. A inserção de valores intermediários apresentados no método da latitude e no método do Anexo 1 foi feita a posteriori e a partir de análises de sensibilidade das equações. Portanto, a incorporação de valores de Somb superiores a 1, devem ser testados e estudada a sensibilidade nas equações preditivas.

O texto do RTQ-R apresenta também uma consideração importante relativa às venezianas. Ressalta que, para receber a nota máxima, é importante que o dispositivo provoque escurecimento no ambiente de dormitório. Entende-se, no entanto, que o escurecimento exigido para o modelo veneziana não é alcançado pelos demais dispositivos. Contudo, este escurecimento poderia ser facilmente substituído por uma persiana interna ou cortinas do tipo *blackout* e, por isso, não deveria limitar a pontuação máxima de alcance para os demais dispositivos.

Observa-se que o modelo L23 receberia a nota 0,2 para todas as orientações quando avaliado pelo método do RTQ-R, porém, os resultados demonstram valores de -2,24 a 2,92. Já para os demais dispositivos (PTI, PTF e TN), enquanto receberiam pontuações de até 0,5 pelo RTQ-R, as simulações demonstram receber valores entre -2,32 e 4,21. Para as venezianas V45 e V90, as quais pontuam o valor máximo pelo RTQ-R, nota-se também uma grande variação nos resultados das simulações, com valores de -2,24 a

2,72.

Outro aspecto importante, é que as pontuações variam significativamente entre as Zonas Bioclimáticas e por orientação solar, e, por isso, observa-se a necessidade de se adotar valores de pontuação específica por zoneamento e orientação solar. Sendo assim, sugere-se que o *somb* seja calculado por orientação, uma vez que, um mesmo ambiente pode ter aberturas em diferentes orientações.

Neste trabalho foi iniciada uma discussão relativa à variável *Somb* nas equações de graus-hora para resfriamento, consumo por aquecimento e consumo por resfriamento. Foi notado que a variável não aparece ponderando todas as áreas de aberturas em todas as orientações nas diversas Zonas Bioclimáticas. Contudo, neste estudo, não houve investigações relativas a esta questão, deixando esta indagação para trabalhos futuros.

Estima-se que os resultados gerados nesta dissertação permitam proporcionar uma avaliação da variável *Somb* do RTQ-R e a consequente valorização dos dispositivos de proteção. Desta forma, atende-se ao objetivo proposto de verificar, por meio do uso da simulação computacional de métricas dinâmicas, a influência de dispositivos de proteção solar no comportamento da luz natural e do desempenho energético em ambientes residenciais, considerando o contexto climático brasileiro. Entende-se que esta pesquisa permite a comparação dos dispositivos e consequente formulação de uma proposta de revisão dos pesos dos dispositivos para uma reformulação da variável *Somb*. Cabe considerar que, com o intuito de simplificar o método de avaliação da presença de sombreamento pelo RTQ-R, é necessário criar um método único de classificação dos dispositivos de proteção.

### 5.3. SUGESTÕES DE ALTERAÇÕES DO TEXTO DO RTQ-R

As análises realizadas permitiram identificar alguns focos de questionamento do RTQ-R relacionados a avaliação da presença de sombreamento em aberturas. Destaca-se aqui os itens identificados e as sugestões de alterações sejam elas diretas ou indicativas para trabalhos futuros:

- Alteração do texto do RTQ-R em relação ao método L23

Para maior adequação do método as pontuações de dispositivos de proteção solar e, em busca de uma maior valorização destes, propõe-se as seguintes alterações de texto e pontuação ao RTQ-R determinadas de acordo com a compilação dos resultados desta pesquisa. Como a variável Somb trata-se de uma variável idealizada inicialmente como binária, os valores foram arredondados para que a pontuação 1.0 seja adotada como máxima, tal qual o comportamento das venezianas. Destaca-se que esta é uma sugestão inicial de texto e, que para melhores resultados, demais pesquisas acerca do desempenho em outras orientações devem ser realizadas de forma a aprimorar o método.

A pesquisa apresentada demonstrou uma necessidade de sombreamento definida pelos métodos PTI e PTF bastante próxima ao método L23 do RTQR, contudo para as orientações leste e oeste, observou-se uma maior necessidade de sombreamento. Sendo assim, foram propostos ângulos maiores e correspondentes aos identificados nos modelos PTI e PTF. Além disso, conforme demonstrado no item 3.2.5 da metodologia, entende-se que o valor da latitude considerada deveria ser relativa, ou seja, deveria-se considerar valores negativos para o hemisfério sul. Desta forma, o fator da equação para norte foi alterado de forma a somar a equação.

Para facilitar a leitura do texto do método propõe-se a alteração do texto incorporando as equações existentes no método por uma tabela com o dimensionamento de cada ângulo de sombreamento por orientação solar, conforme mostrado a seguir:

Tabela 32 Proposta de ângulos para dimensionamento dos dispositivos de proteção solar externos que não venezianas para cálculo da variável *somb* por orientação solar

| Orientação/ângulos | $\alpha$                  | Be ou $\gamma_e$          | Bd ou $\gamma_d$          |
|--------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Norte              | $23,5^\circ + \text{Lat}$ | $75^\circ$                | $75^\circ$                |
| Sul                | $23,5^\circ - \text{Lat}$ | $75^\circ$                | $75^\circ$                |
| Leste              | $75^\circ$                | $23,5^\circ + \text{Lat}$ | $23,5^\circ - \text{Lat}$ |
| Oeste              | $75^\circ$                | $23,5^\circ - \text{Lat}$ | $23,5^\circ + \text{Lat}$ |

Sendo,

Lat – valor da latitude do local (valores negativos para o hemisfério Sul);

$\alpha$  - ângulo de altitude solar a normal da fachada que limita a proteção solar;

$\gamma_e$  - ângulo da altura solar perpendicular a normal da fachada e, medido a esquerda da abertura, que limita as laterais da proteção solar.

Be – ângulo de azimute, medido a esquerda da abertura, que limita as laterais da proteção solar.

$\gamma_d$  - ângulo da altura solar perpendicular a normal da fachada e, medido a direita da abertura, que limita as laterais da proteção solar.

Bd – ângulo de azimute, medido a direita da abertura, que limita as laterais da proteção solar.

A pontuação de cada abertura será definida de acordo com sua zona bioclimática e orientação solar conforme a seguinte tabela:

Tabela 33 Proposta de pontuação da variável *somb* para elementos de proteção solar externos que não venezianas por zona bioclimática

|       | ZB1 | ZB2 e ZB3 | ZB4 a ZB8 |
|-------|-----|-----------|-----------|
| Norte | 0   | 1.0       | 1.0       |
| Sul   | 0   | 0         | 0.4       |
| Leste | 0   | 1.0       | 1.0       |
| Oeste | 1.0 | 1.0       | 1.0       |

Sendo,

ZB- Zona Bioclimática definida de acordo com a NBR 15220-3.

A definição da pontuação por orientação solar deverá ser ponderada à área de abertura e definida a pontuação correspondente de um *somb* único a partir da Equação 15, contudo, destaca-se a importância de se investigar as equações do RTQ-R a fim de se propor um *somb* individual por orientação solar.

$$Somb_{abertura} = \frac{Aa_N \times Somb_N + Aa_S \times Somb_S + Aa_L \times Somb_L + Aa_O \times Somb_O}{Aa_{total}}$$

Equação 15 Equação *Somb*<sub>abertura</sub>

- Revisão da pontuação pelo método TN

A partir dos resultados encontrados, foi possível notar uma incompatibilidade de valores relativos aos modelos de dimensionamento de proteções solares. Percebeu-se que, muitas vezes modelos, que não venezianas, apresentaram valores diferentes

daqueles atribuídos pelo RTQ-R e, por vezes, superiores ao da pontuação máxima, o que evidencia a necessidade de revisão da pontuação atribuída às aberturas avaliadas pelo método TN. Observou-se também que o método TN se mostrou permissivo e inadequado para algumas Zonas Bioclimáticas e orientações onde não apresenta necessidade de sombreamento, como é o caso das orientações norte e leste para a Zona Bioclimática 3. Sugere-se assim, que este método seja aprimorado de forma a simplificar o processo de avaliação e de valorizar o uso de dispositivos de proteção solar externos à abertura. Uma sugestão de alteração do método foi proposta de forma complementar ao método L23 existente, demonstrado acima. Entende-se que a criação de um método único de avaliação da presença de sombreamento tende a simplificar o processo e facilitar o entendimento pelos projetistas.

- Proposição da avaliação da variável *somb* por orientação e Zona Bioclimática

Os resultados apresentados demonstraram grande variabilidade do desempenho de um mesmo método de dimensionamento de dispositivos de proteção solar de acordo com a Zona Bioclimática inserida e orientação solar. Sendo assim, entende-se que a variável *somb* deveria receber pontuações distintas de acordo com suas características locais e de orientação solar. Para tanto, propõe-se que o método deveria ser revisto de forma a gerar um valor de *Somb* para cada orientação solar por ambiente.

- Incorporação da contribuição da variável *somb* em todas as orientações solares nas equações preditivas.

Durante a discussão de resultados foi avaliada a presença da variável *somb* nas equações preditivas do RTQ-R. Foi observado que a variável não aparece ponderando as áreas de abertura em todas as orientações solares nas diversas Zonas Bioclimáticas. Propõe-se uma avaliação das equações existentes e a incorporação da variável *Somb* multiplicando as demais orientações ainda não ponderadas.

## 5.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 5.4.1. Limitações para realização do trabalho

Algumas limitações foram encontradas durante o desenvolvimento deste trabalho. Grande parte delas estão relacionadas com a impossibilidade da avaliação de um número maior de modelos, já que a simulação da iluminação natural demanda um longo tempo, diminuindo a possibilidade da análise de outros fatores. O trabalho foi limitado em relação a:

- Análise para apenas uma cidade por zoneamento bioclimático e inexistência da avaliação da Zona Bioclimática 5, devido a falta de arquivo climático equivalente aos utilizados pelo RTQ-R;
- Limitações quanto ao tamanho da amostra, relacionada às variáveis geométricas: forma do ambiente, tipo de ambiente (foram considerados apenas ambientes de dormitório e estar), fator solar, composição de paredes e coberturas, posição e quantidade e sistemas de aberturas (apenas a iluminação unilateral foi considerada);
- Limitações quanto ao dimensionamento dos dispositivos. O trabalho limitou-se a propor apenas dois modelos de sombreamento do tipo brise (PTI e PTF) diferente dos métodos apresentados pelo RTQ-R. Para uma análise mais precisa do limite da contribuição efetiva dos sistemas de sombreamento seria necessária a investigação de outras formas e dimensionamentos;
- A malha de sensores distantes da abertura para investigação de um desempenho mais próximo da realidade fez com que houvesse pouco acionamento das venezianas V90 e V45.
- Não se levou em consideração no presente trabalho o fato de que muitas varandas presentes em edifícios são fechadas após habite-se. Este caso deve ser estudado com mais detalhe em trabalhos futuros.

Cabe notar que as alterações relativas a estas limitações podem alterar o peso dos dispositivos e os valores da variável Somb calculados neste trabalho.

#### 5.4.2. Sugestões para trabalho futuros

A partir dos resultados obtidos e das limitações encontradas na realização deste trabalho, sugere-se alguns aspectos a serem investigados em trabalhos futuros:

- Aplicação dos valores de pontuações obtidas neste trabalho nas equações preditivas do RTQ-R de forma a verificar o comportamento dos pesos adotados.
- Elaboração de uma proposta simplificada para avaliação da variável *Somb* pelo RTQ-R;
- Investigação da qualidade do espaço iluminado e sombreado dos modelos estudados;
- Aprofundamento nos estudos de caso que envolvam o dimensionamento de dispositivos de proteção solar e análise pelo RTQ-R;
- Avaliação dos outros dimensionamentos intermediários aos modelos PTI e PTF de forma a propor pontuações intermediárias com uso de dispositivos de proteção com menores dimensionamentos, e, portanto, mais facilmente encontradas em edifícios residenciais;
- Mudança de posicionamento dos sensores para próximo às aberturas na investigação de desempenho dos modelos V45 e V90.
- Avaliação de outras tipologias de ambientes, outras composições de paredes e coberturas, como também de demais variáveis a fim de se verificar os resultados se confirmam.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHRAE. AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIRCONDITIONING ENGINEERS. 2005 **ASHRAE Handbook – Fundamentals**. Atlanta, 2005.

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

\_\_\_\_\_. **NBR ISO/CIE 8995-1: iluminação de ambientes de trabalho: Parte 1: Interior**. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. NBR 15575: **Edifícios habitacionais até 5 pavimentos: desempenho**. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. NBR 15215-1: **Iluminação natural: parte 1: conceitos básicos e definições**. Rio de Janeiro, 2005a.

\_\_\_\_\_. NBR 15215-2: **Iluminação natural: parte 2: procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural**. Rio de Janeiro, 2005b.

\_\_\_\_\_. NBR 15215-3: **Iluminação natural: parte 3: procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos**. Rio de Janeiro, 2005c.

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

\_\_\_\_\_. NBR 15215-2. 2005: **Iluminação Natural – Parte 2: Procedimentos de cálculo para estimativa de disponibilidade de luz natural**. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. NBR 16401-1. 2008: **Instalações de Ar Condicionado - Parte 1: Sistemas Centrais e Unitários**. Rio de Janeiro, 2008.

ALUCCI, M. P. **Manual Para Dimensionamento de Aberturas e Otimização da Iluminação Natural na Arquitetura**. São Paulo: Fauusp, 2007. v. 1.

BITTENCOURT, L.; **Cartas Solares: Diretrizes para arquitetos**. 4ª ed. Maceió: Edufal, 2008.

BRASIL. Lei nº 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, DF, 18 out. 2001.

\_\_\_\_\_. Ministério da agricultura e da Reforma agrária. Departamento Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas: 1961-1990**. Brasília, DF, 1992.

\_\_\_\_\_. - Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de eficiência energética. Premissas e diretrizes básicas na elaboração do plano.** Brasília, DF, 2010.

\_\_\_\_\_. **Balanco Energético Nacional (BEN) 2012:** Ano base 2011. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro : EPE, 2008. Disponível em < [www.mme.gov.br](http://www.mme.gov.br)>. Acesso em: Março de 2013.

\_\_\_\_\_. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. Portaria nº18 16 de janeiro de 2012. **Regulamento Técnico da Qualidade - RTQ para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R).** Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <[www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001627.pdf](http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001627.pdf)> Acesso em: Março de 2013.

BOGO, A.J; PEREIRA, F.O.R; CLARO A. Controle solar e admissão de luz natural em aberturas com proteção solar. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído- ENCAC, 10, 2009. Natal. **Anais ANTAC.** Natal, RN, 2009.

\_\_\_\_\_. **Método para avaliação da admissão de luz natural através de aberturas com elementos de controle solar.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2007.

BOURGEOIS, D.; REINHART, C.; MACDONALD, I. *Adding Advanced Behavioral Model in Whole Building Energy Simulation: a Study on the Total Energy Impact of Manual and Automated Lighting Control.* **Energy and Buildings**, v. 38, n. 7, p. 814-823, 2006.

UOL. UNIVERSO ONLINE. Casa e decoração. Disponível em: [http://mulher.uol.com.br/casa-e-decoracao/album/brises\\_2\\_album.htm#fotoNav=13](http://mulher.uol.com.br/casa-e-decoracao/album/brises_2_album.htm#fotoNav=13). Novembro 2013

CB3E. CENTRO BRASILEIRO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. Nota Técnica 2011/02. Disponível em: <http://cb3e.ufsc.br/publicacoes>. Acesso em: Agosto 2013

\_\_\_\_\_. Nota Técnica 2011/03. Disponível em: <http://cb3e.ufsc.br/publicacoes>. Acesso em: Agosto 2013

CINTRA, Milena Sampaio. **Arquitetura e luz natural: a influência da profundidade de ambientes em edificações residenciais**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2011.

CRAWLEY, D. B. *et al.* **EnergyPlus: a new generation building energy simulation program**. In: *BUILDING SIMULATION: INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE*, 6., 1999, Quioto. Anais... Quioto: BS, 1999.

DIDONÉ, E. L.; BITTENCOURT, L. S. **O impacto dos protetores solares na eficiência energética de hotéis**. In: ENTAC, Fortaleza, 2008. Anais... Fortaleza, CE, 2008.

DIDONÉ, E. L. **A influência da Luz Natural na avaliação da eficiência energética de edifícios contemporâneos de escritórios em Florianópolis**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2009.

DIDONÉ, E. L.; PERREIRA **Simulação Integrada para consideração da luz natural na avaliação do desempenho energético de edificações**. Ambiente Construído, Porto Alegre, 2009.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. DIN 5034: Tageslicht in Innenräumen. Berlin, 1997.

DUTRA, Luciano. **Uma metodologia para determinação do fator solar para aberturas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Curso de Pós-Graduação de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 1994.

FIUZA, J.M. **A influência de elementos de proteção solar horizontais aplicados a aberturas laterais na admissão e distribuição da luz natural**. 2008. Dissertação(Mestrado em arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de arquitetura e Urbanismo, Universidade federal de Santa Catarina, Florianópolis.

FROTA, A B. **Geometria da Insolação**. São Paulo: Geros, 2004.

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, Porto Alegre, v. 5, n. 4, p. 81-93, 2005.

GELLER, H.G. **Revolução Energética**: Políticas para um futuro sustentável. 1. ed. Rio de Janeiro, 2004.

GUEDES, A.F.; **Análise da iluminação natural a partir do “Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Residenciais”**: simulação em edifícios multifamiliares de Belo Horizonte. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio sustentável), Escola de Arquitetura e Design, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2012.

IESNA (Illuminating Engineering Society of North America). **Lighting Handbook**. 9. ed. Nova Iorque, EUA, 2000.

LABEEE (Laboratório de Eficiência Energética em Edificações). **Arquivos climáticos**. Disponível em: <(http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos).> Acessado em: outubro 2013

LABEEE (Laboratório de Eficiência Energética em Edificações). **Catálogo de propriedades Térmicas V.5**. 2011a. Disponível em: <(http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos).> Acessado em: outubro 2013.

LABEEE (Laboratório de Eficiência Energética em Edificações). **Relatório Técnico RT\_LABEEE-2011/02: Desenvolvimento da Base de Simulações para o RTQ-R**. Elaborado por: Márcio José Sorgato e Roberto Lamberts. Florianópolis, 2011b. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/projetos/etiquetagem/desenvolvimento/atividades-2008-2011/trabalho-ii>. Acesso em: janeiro 2013.

LI, D.H.W.; WONG, S.I. **Daylighting and energy implications due to shading effects from nearby buildings**. Applied Energy, v.84, n.12, p. 1199-1209, 2007.

MARAGNO, G.V. **Eficiência e Forma do brise soleil na arquitetura de Campo Grande – MS**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2000.

NABIL, A.; MARDALJEVIC, J. **Useful daylight illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings**. Lighting Research & Technology. v. 37, n. 1, p. 41-59, 2005.

OLGYAY, V.; 1963. **Design with climate**. Princeton University Press, Princeton, Nova Jersey, EUA, 1963.

OLGYAY, V. **Arquitetura y Clima: Manual de diseño bioclimático para arquitectos e urbanistas**. 2. ed. Barcelona, Espanha: Editorial Gustavo Gili S.A., 2002.

OVO. Site OVO. Disponível em: <http://ovo.arq.br/?cat=3> Acesso em: Novembro 2013.

PEREIRA F,O.,R; E SHARPLES,S. **The development of a device for measuring solar heat gain and shading coeficientes of windows in scale model**. Energy and Buildings, v. 17 p.271-28 ,1991.

PEREIRA, I. M.; SOUZA, R. V. G. **Proteção Solar em Edificações Residenciais e Comerciais: Desenvolvimento de Metodologia**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ENTAC), 12, Fortaleza, 2008. Anais... Fortaleza, CE: ANTAC, 2008.

PEREZ, Richard; PIERRE, Ineichen; SEALS, Robert; MICHALSKY, Joseph; STEWART, Ronald. **Modeling Daylight Availability and Irradiance Components from Direct and Global Irradiance**. *Solar Energy*, v. 44, n. 5, p. 271-289, 1990.

RAMOS, G. **Análise da Iluminação Natural Calculada por Meio do Programa EnergyPlus**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2008.

REINHART, C. F. **A Simulation Based Review of the Ubiquitous Window Head Height to Daylit Zone Depth Rule of Thumb**. In: INTERNACIONAL BUILDING SIMULATIONS CONFERENCE, 9., Montreal, 2005. Montreal: IBPSA, 2005.

REINHART, C. F.; MARDALJEVIC, J.; ROGERS, Z. ***Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design***. Leukos, v. 3, n. 1, 2006.

REINHART, C. F.; WIENOLD, J. *The daylighting dashboard - A simulation-based design analysis for daylight spaces*. ***Building and Environment***, v.46, n.2.p. 386-396, 2011.

REINHART, C. F. ***Tutorial on the Use of Daysim Simulations for Sustainable Design***. Institute for research in Construction, National Research Council Canada, Canadá, 2010.

REINHART C. F., VOSS K. ***Monitoring manual control of electric lighting and blinds***. Lighting Research & Technology, 35:2 16 pp., 2003, in press.

REINHART C. F., WALKENHORST O. ***Dynamic RADIANCE-based daylight simulations for a full-scale test office with outer venetian blinds***. Energy & Buildings. 2001.

ROAF, S.; CRICHTON, D.; NICOL, F. ***A adaptação de edificações e cidades às mudanças climáticas: Um guia de sobrevivência para o século XXI***. 1. Ed. Porto Alegre, RS: Bookman, 2009.

ROBBINS, C. L. ***Daylighting: Design and Analysis***. Nova Iorque, EUA: Van Nostrand Reinhold, 1986.

RUBIN A I, COLLINS B L, AND TIBOTT R L. ***Window Blinds as a Potential Energy Saver- A Case Study***. NSB Building Science Series 112 , National Bureau of Standards, Washington . 1978.

SANTANA, M. V. ***Influência de Parâmetros Construtivos no Consumo de Energia de Edifícios de Escritório Localizados em Florianópolis, SC***. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Escola de Engenharia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

SANTOS, I. G. ***Análise de envoltória e do sistema de iluminação a partir do “Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos” para avaliação de desempenho de sistemas de fachada e de proteções solares***. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e

Patrimônio Sustentável), Escola de Arquitetura e Design, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2009.

SILVA, V. S. C.; **A Influência dos protetores solares no comportamento da luz natural em edifícios de escritórios**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Programa de pesquisa e pós graduação da faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2011.

SIMPHA. **Sistema de informações de posses de eletrodomésticos e hábitos de consumo**. Disponível em: [www.eletronbras.com/pci/sinpha/home.asp](http://www.eletronbras.com/pci/sinpha/home.asp).2005. Acesso em: Agosto 2013.

SORGATO, M. J.; VERSAGE, R.; LAMBERTS, R. **Sombrear ou não sombrear janelas**. Nota Técnica 02/2011. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

SORGATO, M. J. **Desempenho Térmico de Edificações Residenciais Unifamiliares Ventiladas Naturalmente**. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

SOUZA, R.V.G.; PEREIRA, F.O.R. **Primeira estação de medição de iluminação natural em território brasileiro: análise dos dados dos dois primeiros anos de funcionamento**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 4, n. 3, p. 79-94, 2004.

SOUZA, R.V.G.; **Desenvolvimento de modelos matemáticos empíricos para a descrição dos fenômenos de iluminação natural externa e interna**. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

SOUZA, M. B. **Potencialidade de aproveitamento da luz natural através da utilização de sistemas automáticos de controle para economia de energia elétrica**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção), Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

TELHANORTE. Site. Disponível em: <http://www.telhanorte.com.br/> Acesso em: Novembro 2013

VIANNA, N.S.; GONÇALVES, J.C.S. **Iluminação e arquitetura**. São Paulo: Virtus S/C Ltda, 2001.

WEBER, C.P., **O uso do brise soleil na arquitetura da região central do Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2005.

WIENOLD; CHRISTOFFERSEN, ***Evaluation methods and development of a new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras***, Energy & Buildings 2006.

VERSAGE, R.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. ***Impact of different daylighting simulation results on the prediction of total energy consumption. PROCEEDINGS OF SIMBUILD 2010, FOURTH NATIONAL CONFERENCE OF IBPSA-USA***. Nova Iorque, EUA, p. 1-7, 2010.

Zzzz