

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

MESTRADO EM DINÂMICAS DO ESPAÇO HABITADO

DEHA

Dissertação de Mestrado

**DESEMPENHO TÉRMICO E HABITAÇÃO: UMA AVALIAÇÃO
COMPARATIVA NO CONTEXTO CLIMÁTICO DA ZONA
BIOCLIMÁTICA 8**

Sammea Ribeiro Granja Damasceno Costa

MACEIÓ

2011

SAMMEA RIBEIRO GRANJA DAMASCENO COSTA

**Desempenho térmico e habitação: uma avaliação comparativa no
contexto climático da zona bioclimática 8**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas como requisito final para a obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo

Orientadora: Prof. Dra. Gianna Melo Barbirato

MACEIÓ

2011

ii

**Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico**

Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale

C837d Costa, Sammea Ribeiro Granja Damasceno.

Desempenho térmico e habitação : uma avaliação comparativa no contexto climático da zona bioclimática 8 / Sammea Ribeiro Granja Damasceno Costa. – 2011.

144 f. : il. color.

Orientadora: Gianna Melo Barbirato.

Dissertação (mestrado em Arquitetura e Urbanismo : Dinâmicas do Espaço Habitado) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2011.

Bibliografia: f. 123-138.

Apêndices: f. 139-144.

1. Arquitetura – Desempenho térmico. 2. Arquitetura – Edifícios residenciais. 3. Conforto térmico. 4. Simulação por computador. I. Título.

CDU: 728.1

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

Sammea Ribeiro Granja Damasceno Costa

Desempenho térmico e habitação: uma avaliação comparativa no contexto
climático da zona bioclimática B.

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da
Fau/Ufal, área de concentração em Dinâmicas do
Espaço Habitado, como requisito final para a
obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e
Urbanismo

APROVADA em 9/12/2011

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dra. Gianna Melo Barbinato
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFAL



Prof. Dra. Solange Virginia Galarca Goulart
Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN



Prof. Dr. Augusto Aragão de Albuquerque
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFAL



Prof. Dr. Ricardo Carvalho Cabús
Centro de Tecnologia – UFAL

*Aos meus amados pais, Demilton e Gilva,
pela estrutura educacional que me
permitiu este sonho.*

*Ao Fabiano, meu esposo, que sempre me
incentivou com muito amor dando sentido
a todas as minhas conquistas.*

Agradecimentos

Agradeço a Deus pela sabedoria e luz com que guia meus caminhos, por ter colocado anjos maravilhosos em minha vida, através da minha família e de meus amigos.

Aos meus pais, que sempre me mostraram que o conhecimento é um bem precioso na vida. Por todo amor, atenção, amizade, dedicação e respeito com que me educaram, nunca me deixando faltar nada e muitas vezes renunciando seus próprios interesses em prol dos meus.

A minha irmã, Sammaia, também minha amiga mais especial, por me ouvir, me aconselhar e me dar um sobrinho/afilhado lindo e saudável, que torna meus dias mais especiais.

Ao Fabiano, meu amor, que compartilha há quatorze anos comigo a sua vida, e que há três fez a proposta mais incrível e especial da minha: formarmos uma família. E por nunca me deixar desistir, mesmo nos momentos mais difíceis.

A minha orientadora e amiga, Gianna Melo Barbirato, por toda atenção, carinho e dedicação que teve comigo, desde os anos de iniciação científica.

Aos meus amigos, por me acompanharem e entenderem a minha ausência em muitas horas (Marys, obrigada pela compreensão!). As amigadas que fiz durante minha jornada no Mestrado, no GECA e LabConf, por tornarem mais leve esses anos, em especial a Ana Márcia e Feu, que me ajudaram a desvendar os mistérios do Design Builder.

Aos professores do DEHA por contribuírem com seus conhecimentos para o meu aprendizado. Aos professores Ricardo Cabús, Maria Emília, Augusto Aragão e Solange Goulart por aceitarem participar como examinadores deste trabalho.

A FAPEAL pela bolsa concedida, indispensável para a realização deste trabalho.

E a todos que, de alguma forma, contribuíram para que eu pudesse alcançar esse sonho. Meus sinceros agradecimentos!

RESUMO

COSTA, Sammea Ribeiro Granja Damasceno. **Desempenho térmico e habitação: uma avaliação comparativa no contexto climático da zona bioclimática 8.** 144f. 2011. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, UFAL, Maceió, Alagoas.

A presente pesquisa teve como objetivo analisar o desempenho térmico de unidades habitacionais submetidas ao contexto climático classificado na Zona Bioclimática 8 estabelecido pela norma NBR 15220-3 da ABNT, com vistas ao conforto térmico de seus usuários. As localidades brasileiras escolhidas foram as capitais: Belém – PA; Fortaleza – CE; Maceió – AL; Salvador – BA e Rio de Janeiro – RJ. Foram definidos quatro modelos de habitações para as simulações computacionais, sendo um de referência; dois modificados de acordo com prescrições das normas vigentes para o contexto estudado, e o quarto com o acréscimo de protetor solar. Foram analisadas as condições de insolação de fachadas para quatro diferentes condições de orientação e três horários nos solstícios de inverno e verão. Para a avaliação do desempenho térmico dos modelos estudados, foi utilizado o programa computacional Design Builder. Foi realizada, ainda, uma análise comparativa dos resultados obtidos com limites de conforto baseados em temperaturas de neutralidade, consideradas aceitáveis para edificações residenciais de clima quente e úmido. Os resultados das simulações do desempenho térmico confirmaram que o aumento das áreas das aberturas efetivas para ventilação em conformidade com as normas NBR 15220-3 e NBR 15575 significou, na maioria dos casos, em redução de temperatura do ar interno nos modelos simulados, embora nenhum modelo tenha apresentado 100% de horas confortáveis. Confirmando que, apesar de as cidades pertencerem a uma mesma zona bioclimática, as estratégias de projeto têm especificidades importantes para se alcançar um desempenho térmico favorável, e consequentemente, o conforto térmico de seus usuários.

Palavras-chave: desempenho térmico; conforto térmico; habitação.

ABSTRACT

COSTA, Sammea Ribeiro Granja Damasceno. **Thermal performance and housing: a comparative study on the climate context of Bioclimatic Zone 8.** 144 pages. 2011. Master's thesis (MA in Architecture and Urbanism) – Architecture and Urbanism Post-Graduation Program, UFAL, Maceió, Alagoas.

The main objective of this research is to analyze the thermal performance of housing units submitted to a climate environment classified as Bioclimatic Zone 8, established by norm NBR 15220-3 from The Brazilian Association of Technical Standards (ABNT), with the purpose of providing indoor thermal comfort to those housing units' occupants. The Brazilian locations selected were the following estate capitals: Belém, PA; Fortaleza, CE; Maceió, AL; Salvador, BA and Rio de Janeiro, RJ. Four different types of graphical modeling for computer simulations were determined, in which: one of them was a reference type, two others were modified according to the standards for the climatic context being analyzed and the fourth type was incremented with a shading device. The study has analyzed the solar radiation exposure in facade areas of four different types of solar orientation and three different time periods, in both summer and winter solstices. In order to evaluate the thermal performance of the building units, Design Builder was the computer simulation software chosen for this study case. Also, a comparative analysis of the final results obtained from the comfort limit based on neutral temperatures, considered acceptable for housing units on hot and humid climate zones, has been carried out. The computer simulations of the thermal performance has confirmed that the increase of the effective areas of the openings for ventilation in accordance with NBR 15220-3 and NBR15575, showed, in most cases, reduction in the indoor air temperature in the simulation models, although none model has shown 100% comfortable hours. Confirming that, though the cities belonging to the same bioclimatic zone, the design strategies are important characteristics to achieve a favorable thermal performance, and consequently, the thermal comfort of its users. Though the cities belonging to the same bioclimatic zone, there are important features for design strategies that are important to achieve a favorable thermal performance, and consequently, the thermal comfort of its users.

Keywords: thermal performance; indoor thermal comfort; housing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplos de protetores solares em Maceió – AL.	24
Figura 2 – Loteamento e habitações descontínuas.	25
Figura 3 – Zoneamento Bioclimático Brasileiro.	27
Figura 4 – Abertura (h) em beirais, para ventilação do ático.	29
Figura 5 – Exemplos de implementação de conjuntos residenciais destinados à Habitação de Interesse Social em diversas regiões do Brasil.	44
Figura 6 – Planta baixa do apartamento.	45
Figura 7 – Perspectivas do modelo de referência.	45
Figura 8 – Planta baixa e perspectiva do modelo modificado 01.	46
Figura 9 – Planta baixa e perspectiva do modelo modificado 02.	47
Figura 10: Tela do Sketchup Pro 7.	49
Figura 11: Tela do programa computacional Design Builder.	50
Figura 12 – Perspectivas dos modelos modificados 02 com proteção solar para cada cidade estudada na orientação Norte (aumento das aberturas e proteção solar apenas no pavimento intermediário).	93
Figura 13 – Perspectivas dos modelos modificados 02 com proteção solar para cada cidade estudada na orientação Sul (aumento das aberturas e proteção solar apenas no pavimento intermediário).	94

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Características climáticas das capitais escolhidas para as simulações.	55
Quadro 2 – Cartas solares para a cidade de Belém – PA nas quatro orientações estudadas.....	57
Quadro 3 – Horários críticos do estudo da insolação para Belém no solstício de inverno no modelo de referência.	58
Quadro 4 – Horários críticos do estudo da insolação para Belém no solstício de verão no modelo de referência.....	60
Quadro 5 – Recomendações de protetor solar para a fachada norte em Belém – PA.	61
Quadro 6 – Recomendação de protetor solar para a fachada leste em Belém – PA.	62
Quadro 7 – Recomendações de protetor solar para a fachada sul em Belém – PA..	63
Quadro 8 – Recomendação de protetor solar para a fachada oeste em Belém – PA.	64
Quadro 9 – Cartas solares para a cidade de Fortaleza – CE nas quatro orientações estudadas.....	65
Quadro 10 – Horários críticos do estudo da insolação para Fortaleza no período de solstício de inverno no modelo de referência.	66
Quadro 11 – Horários críticos do estudo da insolação para Fortaleza no período de solstício de verão no modelo de referência.	67
Quadro 12 – Recomendações de protetor solar para a fachada norte em Fortaleza – CE.	68
Quadro 13 – Recomendações de protetor solar para a fachada leste em Fortaleza – CE.	69
Quadro 14 – Recomendações de protetor solar para a fachada sul em Fortaleza – CE.	70
Quadro 15 – Recomendações de protetor solar para a fachada oeste em Fortaleza – CE	71
Quadro 16 – Cartas solares para a cidade de Maceió – AL nas quatro orientações estudadas.....	72

Quadro 17 – Horários críticos do estudo da insolação para Maceió no período de solstício de inverno no modelo de referência.	73
Quadro 18 – Horários críticos do estudo da insolação para Maceió no período do solstício de verão no modelo de referência.	74
Quadro 19 – Recomendações de protetor solar para a fachada norte em Maceió – AL.	75
Quadro 20 – Recomendação de protetor solar para a fachada leste em Maceió – AL.	76
Quadro 21 – Recomendações de protetor solar para a fachada sul em Maceió – AL.	77
Quadro 22 – Recomendação de protetor solar para a fachada oeste em Maceió – AL.	78
Quadro 23 – Cartas solares para a cidade de Salvador – BA nas quatro orientações estudadas.	79
Quadro 24 – Horários críticos do estudo da insolação para Salvador no período do solstício de inverno no modelo de referência.	80
Quadro 25 – Horários críticos do estudo da insolação para Salvador no período do solstício de verão no modelo de referência.	81
Quadro 26 – Recomendações de protetor solar para a fachada norte em Salvador – BA.	82
Quadro 27 – Recomendação de protetor solar para a fachada leste em Salvador – BA.	83
Quadro 28 – Recomendações de protetor solar para a fachada sul em Salvador – BA.	84
Quadro 29 – Recomendação de protetor solar para a fachada oeste em Salvador – BA.	85
Quadro 30 – Cartas solares para a cidade do Rio de Janeiro – RJ nas quatro orientações estudadas.	86
Quadro 31 – Horários críticos do estudo da insolação para o Rio de Janeiro no período do solstício de inverno no modelo de referência.	86
Quadro 32 – Horários críticos do estudo da insolação para o Rio de Janeiro no período do solstício de verão no modelo de referência.	87

Quadro 33 – Recomendações de protetor solar para a fachada norte no Rio de Janeiro – RJ.	89
Quadro 34 – Recomendação de protetor solar para a fachada leste no Rio de Janeiro – RJ.	90
Quadro 35 – Recomendações de protetor solar para a fachada sul no Rio de Janeiro – RJ.	91
Quadro 36 – Recomendação de protetor solar para a fachada oeste no Rio de Janeiro – RJ.	92
Quadro 37: Croquis das janelas das salas de estar/jantar dos modelos analisados.	97
Quadro 38: Croquis das janelas dos dormitórios 01 dos modelos analisados.	97
Quadro 39: Croquis das janelas dos dormitórios 02 dos modelos analisados.	98
Quadro 40: Croquis das janelas das cozinhas dos modelos analisados.	99
Quadro 41 – Resumo da avaliação do sombreamento das fachadas.	117

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 8.	28
Tabela 2 – Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar aceitáveis das vedações externas para a Zona Bioclimática 8.	29
Tabela 3 – Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão.	31
Tabela 4: Critério e nível de desempenho de paredes externas quanto à transmitância térmica.	31
Tabela 5 – Comportamento das temperaturas médias mensais e anuais das capitais da zona bioclimática 8 que possuem arquivos tipo EPW e as capitais escolhidas em destaque.....	42
Tabela 6 – Lista de capitais brasileiras a serem analisadas.	43
Tabela 7 – Medidas das aberturas livres para ventilação de cada ambiente de permanência propostas para o modelo modificado 01 (l = largura, a = altura, p = peitoril).	46
Tabela 8 – Medidas das aberturas livres para ventilação de cada ambiente de permanência propostas para o modelo modificado 02 (l = largura, a = altura, p = peitoril).	47
Tabela 9 – Propriedades construtivas dos modelos computacionais.	51
Tabela 10 – Comparação entre as aberturas efetivas para ventilação dos modelos de referência, modificado 01 e modificado 02.	96

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Comparação das temperaturas do ar e limite de conforto para a cidade de Belém – PA do dormitório 02 exposto à orientação Norte.	100
Gráfico 2 – Comparação das temperaturas do ar e limite de conforto para a cidade de Belém – PA do dormitório 02 exposto à orientação Sul.....	102
Gráfico 3 – Comparação das temperaturas do ar e limite de conforto para a cidade de Fortaleza – CE do dormitório 02 exposto à orientação Norte.....	103
Gráfico 4 – Comparação das temperaturas do ar e limite de conforto para a cidade de Fortaleza – CE do dormitório 02 exposto à orientação Sul.	105
Gráfico 5 – Comparação das temperaturas do ar e limite de conforto para a cidade de Maceió – AL do dormitório 02 exposto à orientação Norte.	106
Gráfico 6 – Comparação das temperaturas do ar e limite de conforto para a cidade de Maceió – AL do dormitório 02 exposto à orientação Sul.....	108
Gráfico 7 – Comparação das temperaturas do ar e limite de conforto para a cidade de Salvador – BA no dormitório 02 exposto à orientação Norte.	110
Gráfico 8 – Comparação das temperaturas do ar e limite de conforto para a cidade de Salvador – BA no dormitório 02 exposto à orientação Sul.....	112
Gráfico 9 – Comparação das temperaturas do ar e limite de conforto para a cidade do Rio de Janeiro – RJ no dormitório 02 exposto à orientação Norte.	113
Gráfico 10 – Comparação das temperaturas do ar e limite de conforto para a cidade do Rio de Janeiro – RJ no dormitório 02 exposto à orientação Sul.....	115

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1. OBJETIVOS	21
2. REVISÃO DE LITERATURA	22
2.1. DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES	22
2.2. NORMATIZAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE HABITAÇÕES: AS NORMAS NBR 15520 E NBR 15575	26
2.3. DESEMPENHO TÉRMICO EM HABITAÇÕES NO CONTEXTO BRASILEIRO: ESTUDOS RECENTES	33
2.4. O USO DAS SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS EM DESEMPENHO TÉRMICO DE HABITAÇÕES	35
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	41
3.1. ESCOLHA DAS CIDADES DENTRO DO CONTEXTO CLIMÁTICO DA ZONA BIOCLIMÁTICA 8	41
3.1.1. Disponibilidades de dados climáticos	41
3.2. SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS	43
3.2.1. Definição dos modelos adotados	43
3.2.2. Programas computacionais	48
3.2.2.1. Estudo da insolação das fachadas	48
3.2.2.2. Estudo do comportamento térmico dos modelos	49
3.3. ANÁLISE DOS DADOS	52
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	55
4.1. PERFIL CLIMÁTICO	55

4.2. ESTUDO DA INSOLAÇÃO DAS FACHADAS NO MODELO DE REFERÊNCIA	57
4.3. ESTABELECIMENTO DO MODELO MODIFICADO 02 COM PROTEÇÃO SOLAR	92
4.4. ANÁLISE DAS ABERTURAS EFETIVAS PARA VENTILAÇÃO DOS MODELOS	96
4.5. SIMULAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS MODELOS ANALISADOS NAS CIDADES ESTUDADAS	99
4.6. DISCUSSÃO GERAL DOS RESULTADOS	117
5. CONCLUSÕES	121
REFERÊNCIAS	123
BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA	133
APÊNDICE: SIMULAÇÕES DA INSOLAÇÃO COM O SKETCHUP PRO 7.	139

1. INTRODUÇÃO

O homem sempre buscou um abrigo que lhe desse segurança diante das adversidades climáticas. Sendo assim, a moradia surge nas primeiras expressões arquitetônicas como refúgio e vai se adaptando à medida que a história da arquitetura vai se configurando ao longo do tempo.

Cabrita (1990) conceitua a habitação nas suas dimensões filosófica, fisiológica, sociológica e psicológica, reportadas diretamente à satisfação de um conjunto de desejos e necessidades determinantes do bem-estar do ser humano.

Schmid (2005, pg. 13) relaciona o conforto com a casa, quando cita:

A casa acolhe. Atende a um conjunto de necessidades básicas de segurança, envolvimento, orientação no tempo e, principalmente, no espaço. É como se oferecesse consolo interminável ao ser humano, lançado no mundo. E na casa, a qualidade mais importante parece ser o conforto (Schmid, 2005, pg. 13).

A noção de conforto ambiental aplicado a edificações data do início do século XIX, na Europa; porém, ele surge instintivamente em construções vernáculas, na busca por abrigos contra as intempéries. Sobre essas construções, Brito (2007, p. 56) afirma: “a envoltória do edifício era a única responsável por amenizar as condições climáticas exteriores, fornecendo aos usuários os padrões de conforto adequados ao funcionamento de seu organismo”.

Schmid (2005) aponta uma importante ruptura no século XX, agregada ao Modernismo, quando crescem vários núcleos de verdadeira hostilidade à adequação climática de edificações, vista como imprópria à estética na qual sistemas de iluminação e climatização artificial passam a ser largamente utilizados, deixando o projetista em uma situação cômoda em relação à adequação do edifício ao clima.

Em contrapartida, nos anos 1970 a crise do petróleo provoca um forte impacto na economia mundial afetando diretamente a arquitetura, fazendo-a repensar no consumo desmedido de energia elétrica próprio do chamado “estilo internacional”.

Particularmente no Brasil, em 2001, ocorre a crise do “apagão”¹, tendo como consequência direta ações governamentais com vistas à racionalização do uso de energia elétrica nas edificações, até então restritas ao meio acadêmico. Em decorrência dessa crise, voltam as discussões acerca da importância da adequação climática das edificações, mesmo com a possibilidade de climatização artificial complementar, a partir de avaliações do desempenho térmico de edificações frente a diversas exigências climáticas.

Sabe-se que por meio da adequação climática de edificações pode-se obter a satisfação do usuário quanto às condições térmicas dos ambientes internos, diminuindo o consumo de energia com a utilização de sistemas ativos de climatização. A utilização de estratégias bioclimáticas no projeto de habitações passa a ter maior importância nos debates, à medida que se passa a entender que o emprego de meios artificiais de climatização em edificações pode tornar-se economicamente inviável para a população de menor poder aquisitivo.

Quanto à importância da avaliação do desempenho térmico em habitações de interesse social, Curcio e Silva (2009) ressaltam que:

Em todos os âmbitos de avaliação de desempenho térmico e redução de consumo, talvez o das Habitações de Interesse Social seja um dos mais importantes, já que seus usuários possuem menor poder aquisitivo, e muitas vezes, não dispõem de recursos financeiros para arcar com uma climatização artificial para compensar o desconforto térmico, e ainda poderão ser beneficiados com um menor consumo de energia nas suas casas (CURCIO; SILVA, 2009).

Infelizmente, o que se tem observado ainda no país são, de uma maneira geral, políticas públicas destinadas à habitação inapropriadas e divergentes das questões técnicas que abrangem o planejamento, o projeto e a execução de edifícios com vistas à qualidade da construção e o conforto de seus usuários. De maneira geral, novos loteamentos e conjuntos habitacionais não são executados dentro da malha urbana, tornando-se “ilhas urbanas”, desalinhadas das características urbanísticas do entorno. Quanto aos projetos arquitetônicos, estes

¹ Apagão: racionamento do consumo de energia elétrica no Brasil em virtude do desequilíbrio entre oferta e demanda deste recurso vivido no ano de 2001.

resultam invariavelmente em “carimbos” multiplicados ao longo das cidades, utilizando-se de materiais construtivos de baixa qualidade.

Em face dessa discussão, Kowaltowski e Labaki (2007, p. 962) comentam acerca do surgimento da padronização de projetos na história:

A padronização associada à racionalização, em isto é, a repetição de um mesmo modelo, surge na História principalmente com a intensificação da industrialização. O processo produtivo industrial demanda eficiência e controle para evitar desperdícios e garantir a qualidade dos produtos. A observação de procedimentos produtivos para o estabelecimento de normas de comportamento foi uma meta defendida por diferentes governos, independentemente de suas ideologias, e introduzidas visando a melhoria da prestação de serviços, da remuneração, da capacidade de trabalho, e com ela, da qualidade de vida (KOWALTOWSKI; LABAKI, 2007, p. 962).

De acordo com o Ministério das Cidades (BRASIL, 2009), o déficit habitacional brasileiro estimado em 2007 era de 6.273 milhões de domicílios, dos quais 5,180 milhões, ou 82,6%, significavam déficit em áreas urbanas. Já em 2011 o Ministério das Cidades (BRASIL, 2011) divulga uma queda no déficit habitacional, passando para 5,546 milhões de moradias dos quais 4,629 milhões, ou 83,5%, do déficit habitacional atual são referentes a áreas urbanas.

Os dados acima revelam, por um lado, um grave problema social ainda por se resolver, apesar da queda do déficit, e, por outro, a existência de uma grande oportunidade de mercado para a indústria da construção. Segundo Silva Neto (2008), o segmento da construção civil destinado à construção de moradias populares tende a crescer nos próximos anos. Ressalte-se aí, a importância de estudos que avaliem o desempenho térmico dessas habitações, com vistas à racionalização do uso de energia.

Diversos programas de provisão habitacional têm sido criados pelo Governo Federal nos últimos anos, tais como o Programa de Arrendamento Residencial (PAR); o Programa de Subsídio à Habitação de Interesse Social (PSH) e o Programa Minha Casa, Minha Vida.

O **Programa de Arrendamento Residencial** surgiu com a intenção de suprir a necessidade de moradia para a população de baixa renda com até seis

salários mínimos e financiado com recursos do Fundo de Arrendamento Residencial. Participam do programa o *Ministério das Cidades*, sendo o gestor dos recursos do PAR; *Caixa Econômica Federal*, sendo o agente executor do PAR; *Poder Público*, responsável pelo recebimento das inscrições e posterior envio à CEF; *Arrendatário*, pessoa física que compreende os requisitos do programa; *Associações Habitacionais*, devidamente reconhecidas pelo Ministério das Cidades, que podem apresentar propostas e indicar a demanda de arrendamento das unidades juntamente com o Poder Público; e *Empresas do ramo da Administração Imobiliária*, contratadas para administrar os contratos de imóveis e condomínios.

O **Programa de Subsídio à Habitação** visa financiar operações financeiras para tornar acessível a moradia para os segmentos populacionais de renda familiar de interesse social, realizadas por instituições financeiras autorizadas a funcionar pelo Banco Central do Brasil ou pelos agentes financeiros do Sistema Financeiro da Habitação - SFH, na forma definida pelo Conselho Monetário Nacional.

O programa **Minha Casa, Minha Vida** visa o subsídio de taxas e juros de financiamentos habitacionais para famílias com renda familiar de até 10 salários mínimos. A meta é a construção de 1 milhão de moradias durante o programa, com o auxílio da iniciativa privada, divididas para três faixas salariais. A primeira faixa salarial de até R\$ 1.345,00; a segunda até R\$ 4.900,00; e a terceira acima de R\$ 4.900,00 (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2008).

Entretanto, Apesar de existirem tais programas destinados à habitação, nenhum deles aponta aspectos de conforto térmico em suas diretrizes projetuais. Menezes (2006); e Almeida e Peregrino (2009) destacam:

Uma habitação social deve observar definições tecnológicas, atendendo a parâmetros técnicos fixados por normas nacionais e/ou internacionais. As habitações construídas devem oferecer condições de habitabilidade, propiciando aos seus ocupantes condições ambientais interiores capazes de protegê-los das variações climáticas e criando um local digno e adequado a suprir as necessidades básicas (MENEZES, 2006, p. 15).

As habitações populares (...) apresentam problemas de ordem política e econômica que têm levado à redução de suas dimensões bem como a diminuição do padrão da moradia (ALMEIDA; PEREGRINO, 2009).

Diversos estudos sobre qualidade das habitações vêm sendo realizados, especialmente no meio acadêmico. Para a avaliação do desempenho térmico de habitações já existem referências normativas que apresentam diretrizes construtivas para cada zona bioclimática brasileira, como a NBR 15220 (ABNT, 2005), que em sua parte 3 apresenta o Zoneamento Bioclimático Brasileiro e as Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social. É necessário, portanto, uma constante troca de informações entre os setores públicos ligados à construção, projetistas e engenheiros de obra e pesquisadores que subsidiem esses programas quanto aos aspectos climáticos particulares de cada região que devem ser observados.

Uma vez que o conforto térmico é uma base importante para que condições de habitabilidade sejam alcançadas em uma edificação, é de fundamental importância que a busca por novos referenciais construtivos que visem à conservação de energia através da adequação climática das construções e o conforto térmico de seus usuários seja uma constante.

Ao agregar melhorias no projeto arquitetônico em sua fase de concepção, como estudos prévios de materiais, componentes, análise de condições de exposição ao vento e orientação solar, pode-se obter satisfatórias condições de conforto térmico dos usuários.

Esses resultados podem ainda ser alcançados a partir da avaliação do desempenho térmico de habitações através de simulação computacional, que auxiliam ao arquiteto e projetista permitindo a realização de testes com diversas alternativas de projeto e as consequências térmicas resultantes.

1.1.OBJETIVOS

O presente trabalho tem como **objetivo geral** analisar o desempenho térmico de unidades habitacionais submetidas ao contexto climático da Zona Bioclimática 8, a fim de contribuir para alternativas projetuais nos casos estudados, com vistas ao conforto térmico de seus usuários.

Os **objetivos específicos** são:

- Analisar comparativamente o comportamento térmico de unidades habitacionais inseridas em cidades brasileiras classificadas na zona bioclimática 8 da Norma 15220-3 da ABNT;
- Discutir a aplicabilidade do zoneamento climático quanto às estratégias relacionadas à abertura efetiva para ventilação propostas às cidades analisadas segundo as Normas NBR 15220-3 e NBR 15575.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Esta seção apresenta aspectos que fundamentaram o desenvolvimento do trabalho, como o desempenho térmico de edificações, a apresentação de normas de desempenho térmico de edificações, estudos sobre desempenho térmico em habitações e o uso das simulações computacionais em desempenho térmico.

2.1. DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES

O desempenho térmico de uma edificação é conseguido quando se alcança o equilíbrio entre a própria edificação (materiais de envoltória e construção), suas fontes internas de calor e o ambiente externo (condições climáticas) na qual se insere. Akutsu (1988) afirma que a avaliação do desempenho térmico de uma edificação é a aferição do ambiente interno em relação a um conjunto de requisitos préfixados em função das exigências do usuário quanto ao seu conforto térmico.

Estes requisitos são: as condições de exposição da edificação, divididas em condições climáticas (temperatura e umidade do ar exterior, velocidade e direção dos ventos e radiação solar direta e difusa); condições de implantação (latitude e longitude, orientação solar); condições de uso da edificação (número de ocupantes e atividades padrão, quantidade de calor e vapor d'água produzidos no interior da edificação, número de renovações de ar proporcionados pelo controle da ventilação do ambiente).

Segundo Bouchlaghem (2000), há dois tipos de parâmetros que afetam diretamente o desempenho térmico de uma edificação: o primeiro diz respeito ao contexto climático ao qual a edificação está submetida, tal como as condições de radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa e direção do vento; o segundo tipo diz respeito às variantes de projeto que, relacionadas ao edifício, determinam a resposta térmica às condições climáticas, que são: a) localização e layout geral; b) propriedades termofísicas dos materiais construtivos; c) tipo, localização e tamanho

das aberturas; d) isolamento; e) tratamento das superfícies da envoltória; f) área e constituição das partições que compõe a edificação.

O desempenho térmico dos edifícios habitacionais é influenciado, portanto, pelas condições do entorno e da implantação do conjunto de edifícios, além das características do próprio edifício e de seus elementos construtivos (SILVEIRA, 2005; THORMARK, 2006; SOZER, 2010). Nos edifícios condicionados naturalmente os materiais que o constituem são determinantes nas trocas térmicas entre o meio externo, em função das temperaturas externas e da radiação solar, e o meio interno.

Deve-se ter em mente que a face componente de uma edificação responsável pela maior transmissão de calor ao interior da mesma é a cobertura. E que apesar de os demais componentes externos, as fachadas, não receberem tantas horas de sol, em virtude de sua orientação em relação ao norte e plano vertical, também são grandes agentes deste desempenho. De acordo com os materiais usados, sua disposição, quantidades e espessuras empregadas pode-se piorar ou melhorar este desempenho (SPANNENBERG; SILVEIRA; BARTH (2005).

As aberturas são elementos da edificação que merecem destaque na avaliação do desempenho térmico, pois é através delas que o interior da edificação recebe luz e ventilação. Por isso, sua orientação e tamanho devem ser observados durante a concepção do projeto, assim como a utilização de protetores solares, uma vez que a quantidade de luz no ambiente afeta diretamente o conforto dos usuários, e a radiação solar incidente pela janela (superfície envidraçada) é responsável por grande parcela da carga térmica de um edifício.

De maneira geral, um ambiente bem iluminado trará benefícios aos usuários e suas atividades desenvolvidas. Iwashita (1999) explica que a luz natural confere ao usuário o senso de espacialidade, pois as aberturas dão à impressão subjetiva de ampliar as áreas; propiciando vivacidade ao edifício e um bom ambiente visual, por ser a melhor condutora de cores.

Entretanto, em climas quentes é importante a previsão de protetores solares nas aberturas das edificações, a fim de protegê-la da radiação solar direta. Bittencourt (2004) classifica os protetores solares quanto ao movimento (em móveis e fixos) e quanto à posição na fachada (em verticais, horizontais e mistos). Os protetores verticais (Figura 1a) situam-se perpendicularmente ao plano horizontal e

geralmente são mais indicados para as fachadas orientadas nos sentidos norte (N) e sul (S), visando impedir a incidência dos raios luminosos vindos do leste (L) e do oeste (O). Os protetores horizontais (Figura 1b) possuem o eixo horizontal paralelo á fachada e ao plano horizontal. Recomenda-se seu uso no sentido leste (L) e oeste (O), tornando-se muito eficiente nas horas em que o sol encontra-se mais alto. Os protetores mistos representam a união dos dois citados acima, muito eficazes nas fachadas norte (N) e sul (S), protegendo da incidência lateral (Figura 1c).

Figura 1 – Exemplos de protetores solares em Maceió – AL.

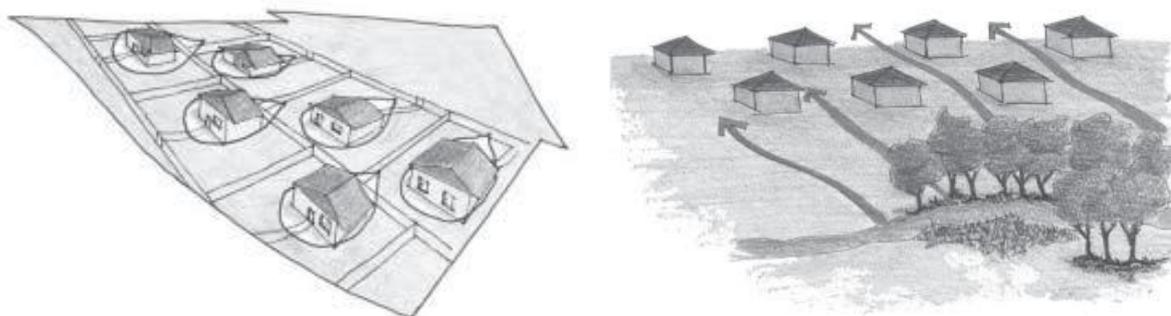


a) Protetor solar vertical. Tribunal de Contas da União; b) Protetor solar horizontal, elemento varanda. Residência unifamiliar; c) Prédio da Universidade Federal de Alagoas, CTEC. Fonte: Acervo da autora.

Outros elementos a serem considerados no desempenho térmico de edificações são: o meio onde ela está inserida, o entorno; o tratamento destes espaços abertos; e a posição dos demais edifícios com suas características

arquitetônicas, que juntamente com o potencial da ventilação natural na região, os materiais utilizados na construção, os arranjos interno e externo podem interferir no comportamento térmico destas edificações. Devendo, então, ser contempladas estratégias bioclimáticas também para o arranjo do loteamento onde as edificações são inseridas. Em climas quentes e úmidos, estes devem possuir suas divisas e habitações descontínuas, facilitando a passagem dos ventos entre elas (Figura 2).

Figura 2 – Loteamento e habitações descontínuas.



Fonte: BRASIL, 2005.

É necessário observar também que os materiais de construção influenciam no desempenho térmico da edificação, pois é através deles que as trocas de calor ocorrem, afetando diretamente os usuários em seu interior. Sendo assim, é de extrema importância que o arquiteto projetista conheça as propriedades dos materiais a serem empregados como a condutividade térmica, a resistência térmica e sua emissividade.

A **condutividade térmica** é explicada pela NBR 15220-1 (ABNT, 2005) como a propriedade física de um material homogêneo e isótropo, no qual se verifica um fluxo de calor constante, com densidade de 1 W/m^2 , quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de 1 Kelvin por metro. Sua representação simbólica é dada pelo símbolo λ e sua unidade é expressa em $\text{W}/(\text{m.K})$.

A **resistência térmica** é o quociente da diferença de temperatura verificada entre as superfícies de um elemento ou componente construtivo pela densidade de fluxo de calor, em regime estacionário. Sua representação simbólica é dada através do símbolo **R** e sua unidade é expressa em $(\text{m}^2.\text{K})/\text{W}$ (ABNT, 2005).

A **emissividade** de um material é dada através do quociente da taxa de radiação emitida por uma superfície pela taxa de radiação emitida por um corpo negro, à mesma temperatura, seu símbolo é ε .

2.2. NORMATIZAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE HABITAÇÕES: AS NORMAS NBR 15520 E NBR 15575

No intuito de auxiliar aos arquitetos e projetistas no desenvolvimento de projetos de habitações com desempenho térmico satisfatório, no Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – elaborou normas técnicas que padronizam procedimentos, métodos de ensaios, terminologias, simbologias e classificações, de modo a garantir que os serviços e produtos sejam de qualidade.

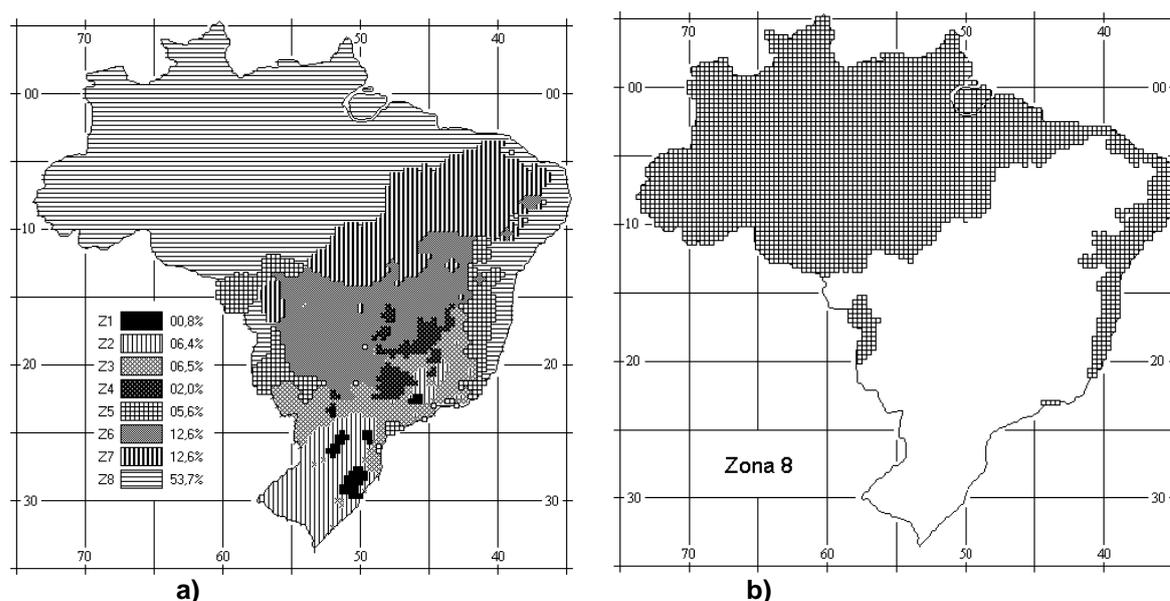
A norma NBR 15220-3 (ABNT, 2005), *Desempenho térmico de edificações: procedimentos para avaliação de habitações de interesse social* foi desenvolvida pelo Comitê Brasileiro de Construção Civil, liderado pela Universidade Federal de Santa Catarina, sendo aprovada pela Comissão de Estudo de Desempenho Térmico de Edificações em 2003 e publicada pela ABNT em abril de 2005, quando entrou em vigor. Os textos da norma NBR 15220 (ABNT, 2005) estão divididos em 5 partes, a saber:

- **Parte 1:** Definições, símbolos e unidades;
- **Parte 2:** Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações;
- **Parte 3:** Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;
- **Parte 4:** Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida;
- **Parte 5:** Medição da resistência térmica e da condutividade térmica em regime estacionário pelo método fluximétrico.

Na **parte 1** são apresentadas as definições e os correspondentes símbolos e unidades de termos relacionados com o desempenho térmico de edificações. A **parte 2** estabelece os procedimentos para o cálculo das propriedades térmica – resistência, transmitância e capacidade térmica, atraso térmico e fator de calor solar – de elementos e componentes de edificações.

A **parte 3** apresenta recomendações para avaliar o desempenho térmico de habitações de interesse social, indicando parâmetros que buscam favorecer o desempenho térmico. A metodologia adota um zoneamento bioclimático do Brasil (Figura 3), que propõe a divisão do território brasileiro em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima, adaptando uma Carta Bioclimática a partir da sugerida por Givoni (1992).

Figura 3 – Zoneamento Bioclimático Brasileiro.



a) Zoneamento Bioclimático Brasileiro; b) Zona Bioclimática 8. Fonte: ABNT, 2005.

Para cada uma destas zonas, são apresentadas recomendações tecniconstrutivas de adequação climática, visando à otimização do desempenho térmico das edificações, tais como:

- Tamanho das aberturas para ventilação;
- Proteção das aberturas;

- Vedações externas (tipo de parede externa e cobertura, considerando-se transmitância térmica, atraso térmico e absorvância à radiação solar);
- Estratégias de condicionamento térmico passivo.

Também estabelece três procedimentos para a avaliação do desempenho térmico em habitações nas oito zonas:

- **Procedimento 1** – Simplificado: verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos para fachadas e coberturas, nos documentos.
- **Procedimento 2** – Simulação: verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos na referida norma, por meio da simulação computacional do desempenho térmico do edifício.
- **Procedimento 3** – Medição: verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos na referida norma, por meio da realização de medições em edificações ou protótipos construídos.

A zona bioclimática 8 possui 99 cidades, das quais 16 são capitais: Rio Branco (Acre), Manaus (Amazonas), Belém (Pará), Macapá (Amapá), Maceió (Alagoas), Salvador (Bahia), Fortaleza (Ceará), Vitória (Espírito Santo), São Luís (Maranhão), João Pessoa (Paraíba), Recife (Pernambuco), Rio de Janeiro (Rio de Janeiro), Natal (Rio Grande do Norte), Porto Velho (Rondônia), Boa Vista (Rondônia) e Aracajú (Sergipe).

De acordo com essa norma, a primeira diretriz exposta diz respeito às **aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas**, recomendando aberturas grandes, representando mais de 40% da área do piso, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 8.

Aberturas para ventilação A (em % da área de piso)	Sombreamento das aberturas
Grandes: A > 40%	Sombrear aberturas

Fonte: ABNT, 2005.

A área das aberturas efetivas para ventilação é dada através da relação:

$$A_1 = 100 \cdot (A_A / A_p) (\%) \quad (1)$$

Onde:

A_1 é a área efetiva de abertura de ventilação do ambiente, sendo que para o cálculo desta área somente são consideradas as aberturas que permitam a livre circulação do ar, devendo ser descontadas as áreas de perfis, vidros e de qualquer outro obstáculo, nesta área não são computadas as áreas de portas;

A_p é a área de piso do ambiente.

O segundo aspecto abordado pela norma referencia os **tipos de vedações externas**, indicando parede leve refletora com transmitância térmica (U) menor ou igual a 3,6 W/m.K e cobertura leve refletora com U menor ou igual a 2,3. FT, conforme se verifica na tabela abaixo (Tabela 2).

Tabela 2 – Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar aceitáveis das vedações externas para a Zona Bioclimática 8.

Vedações externas	Transmitância térmica (U) W/m ² .K	Atraso Térmico Horas	Fator de calor Solar FCS %
Parede: Leve Refletora	$U \leq 3,60$	$\varphi \leq 4,3$	$FCS \leq 4,0$
Cobertura: Leve Refletora	$U \leq 2,30.FT$	$\varphi \leq 3,3$	$FCS \leq 6,5$

Notas:

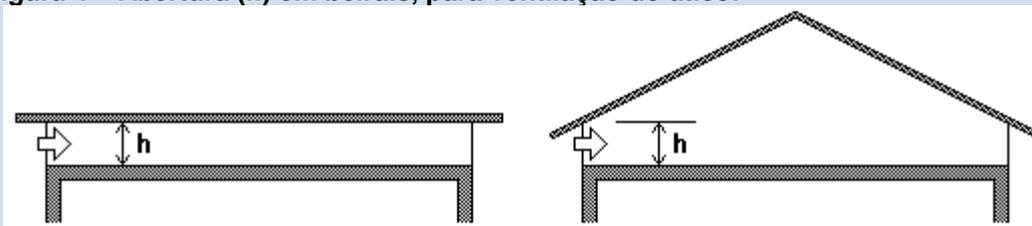
1 Coberturas com telha de barro sem forro, embora não atendam aos critérios das tabelas 23 e C.2, poderão ser aceitas na Zona 8, desde que as telhas não sejam pintadas ou esmaltadas.

2 Na Zona 8, também serão aceitas coberturas com transmitâncias térmicas acima dos valores tabelados, desde que atendam às seguintes exigências:

a) contenham aberturas para ventilação em, no mínimo, dois beirais opostos; e b) as aberturas para ventilação ocupem toda a extensão das fachadas respectivas.

Nestes casos, em função da altura total para ventilação (Figura 4), os limites aceitáveis da transmitância térmica poderão ser multiplicados pelo fator (FT) indicado pela equação 1.

Figura 4 – Abertura (h) em beirais, para ventilação do ático.



$$FT = 1,17 - 1,07 \cdot h - 1,04$$

(1)

Onde:

FT igual ao fator de correção da transmitância aceitável para as coberturas da zona 8 (adimensional); h igual à altura da abertura em dois beirais opostos, em centímetros.

Fonte: ABNT, 2005.

A última diretriz mencionada pela norma é a **estratégia de condicionamento térmico passivo**, e a indicada pela norma para a Zona Bioclimática 8, é a *ventilação cruzada permanente* durante o período de verão, enfatizando, ainda, que o condicionamento passivo será suficiente nas horas mais quentes.

A **parte 4** estabelece o método absoluto para determinação, em regime permanente, da resistência térmica e da condutividade térmica de materiais sólidos, usando-se a aparelhagem denominada *placas quentes* protegida. A **parte 5** estabelece o método de utilização de técnicas fluximétricas para medir a resistência térmica em regime estacionário através de corpos-de-prova na forma de placas planas, podendo-se deduzir por cálculo a condutividade térmica.

A norma NBR 15575 (ABNT, 2010) *Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos* tem como objetivo definir os requisitos e critérios de desempenho que se aplicam ao edifício habitacional como um todo, e que não podem ser avaliados de forma isolada para um ou mais elementos específicos. Os textos da NBR 15575 (ABNT, 2010) dividem-se em cinco partes, são elas:

- **Parte 1:** Requisitos gerais;
- **Parte 2:** Requisitos para os sistemas estruturais;
- **Parte 3:** Requisitos para os sistemas de pisos internos;
- **Parte 4:** Sistemas de vedações verticais externas e internas;
- **Parte 5:** Requisitos para os sistemas de coberturas;
- **Parte 6:** Requisitos para os sistemas hidrossanitários.

Na **parte 1** são tratados os requisitos gerais e critérios do desempenho térmico, lumínico e acústico em relação às exigências dos usuários para o edifício habitacional de até cinco pavimentos e seus sistemas. Segundo a tabela a seguir (Tabela 3), para o período do verão, os níveis de desempenho térmico para a zona

bioclimática 8 são divididos entre M (mínimo), I (intermediário) e S (superior), o desempenho térmico para condições de inverno, de acordo com a referida norma, não necessita ser verificado.

Tabela 3 – Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão.

Nível de desempenho	Limites de temperatura do ar no verão
M	Valor máximo diário da temperatura do ar interior \leq valor máximo diário da temperatura do ar exterior (zonas 1 a 8)
I	- Valor máximo diário da temperatura do ar interior $\leq 29^{\circ}\text{C}$ (zonas 1 a 7) - Valor máximo diário da temperatura do ar interior $\leq 28^{\circ}\text{C}$ (zona 8)
S	- Valor máximo diário da temperatura do ar interior $\leq 27^{\circ}\text{C}$ (zonas 1 a 7) - Valor máximo diário da temperatura do ar interior $\leq 26^{\circ}\text{C}$ (zona 8)

Fonte: ABNT, 2010.

Na **parte 2** são tratados os requisitos para os sistemas estruturais aplicáveis a edifícios habitacionais de até cinco pavimentos com respeito ao desempenho estrutural. A **parte 3** trata do desempenho do sistema de pisos internos, incluindo acabamentos que estão sujeitos a desgastes e os seus substratos que podem gerar ruídos em edificações multipavimentos. Esta parte da norma pode ser utilizada independente da quantidade de pavimentos do edifício habitacional.

A **parte 4** trata da avaliação do desempenho térmico de habitações verticais no que diz respeito às vedações internas e externas. Essas vedações influenciam diretamente o desempenho interno do edifício habitacional, pois exercem função de estanqueidade à água, isolamento térmico e acústico, capacidade de fixação de peças suspensas e compartimentação em casos de incêndios. Os valores máximos admissíveis para a Transmitância térmica (U) das paredes externas propostos pela norma são expressos na tabela a seguir (Tabela 5).

Tabela 4: Critério e nível de desempenho de paredes externas quanto à transmitância térmica.

Nível de desempenho	Transmitância Térmica(1) (U, em $\text{W}/(\text{m}^2.\text{K})$)		
	Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
M	$U \leq 2,5$	$\alpha(2) < 0,6$	$\alpha(2) \geq 0,6$
		$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$

Fonte: ABNT, 2010.

Quanto à capacidade térmica dos materiais na zona bioclimática 8 esta deve alcançar valores $\geq 45 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$. Em relação à área mínima para ventilação, a norma enfatiza que os valores mínimos para a zona bioclimática 8, admissíveis para as áreas de aberturas para ventilação de ambientes de longa permanência deverão ser $\geq 15\%$ da área do piso.

Na **parte 5** é reservada para a análise do desempenho térmico da cobertura e os valores máximos admissíveis para a Transmitância Térmica (U) das coberturas, considerando fluxo térmico descendente, os respectivos níveis de desempenho para zona bioclimática 8 são:

- Nível M: $U \leq 2,30 \text{ FV}$;
- Nível I: $U \leq 1,50 \text{ FV}$;
- Nível S: $U \leq 1,00 \text{ FV}$.

Ressalta-se ainda que, na zona bioclimática 8, também estão admissíveis coberturas com componentes de telhas cerâmicas, mesmo que a cobertura não tenha forro e o fator de ventilação (FV) é estabelecido na ABNT NBR 15220-2 (ABNT, 2005).

Em relação à absorvância à radiação solar das superfícies externas da cobertura quando novas, o nível de desempenho correspondente para zona bioclimática 8 são expressos a seguir:

- Nível M: Sem exigência;
- Nível I: $0,26 < \alpha \leq 0,40$;
- Nível S: $\alpha \leq 0,25$.

2.3. DESEMPENHO TÉRMICO EM HABITAÇÕES NO CONTEXTO BRASILEIRO: ESTUDOS RECENTES

Devido à atual situação de crescimento econômico nacional, com reflexos significativos na construção civil, principalmente no setor da habitação, e a tendência de um déficit habitacional decrescente (BRASIL, 2011), a preocupação com a qualidade dessas habitações torna-se cada vez mais uma constante. Nesse contexto, uma ferramenta importante para os arquitetos e demais projetistas consiste na avaliação do desempenho térmico de habitações, com o uso de normas técnicas regulamentadoras na área que definem critérios para que se alcancem níveis satisfatórios de desempenho e projetos mais eficientes termicamente. No Brasil, pesquisas envolvendo desempenho térmico vem se intensificando, alguns exemplos são mostrados a seguir.

Em Bauru, São Paulo, Alves e Santos (2005) analisaram a implantação do conjunto habitacional Nobuji-Nagasawa. A partir de simulações qualitativas com o equipamento *Heliodon*² realizadas para os solstícios de verão e de inverno, os resultados identificaram a necessidade de se corrigir o desenvolvimento do projeto das moradias deste núcleo, de forma a buscar possibilidades de oferecer o conforto térmico através da orientação e dimensionamento mais adequado para colocação das aberturas.

Torres (2006) avaliou a qualidade térmica de edificações verticais pertencentes ao programa PAR – Programa de Arrendamento Residencial – a partir da análise de diferentes configurações construtivas e princípios de desenho urbano existentes em conjuntos habitacionais em Maceió – AL. Foi realizada uma análise qualitativa feita através da observação dos tributos bioclimatizantes da forma urbana, indicando que a forma definida por pátios gera efeitos negativos na qualidade térmica dos espaços internos e externos em climas quentes e úmidos, enfatizando a importância do arranjo construtivo também quando destinado à habitação de interesse social na qualidade climática dessas edificações. Os resultados apontaram

² Consiste em um simulador do movimento aparente do Sol e é utilizado para ensino da geometria solar através de maquetes físicas.

que os maiores índices de conforto térmico foram encontrados nos arranjos com maiores índices de porosidade e que a presença da vegetação e de um índice maior de permeabilidade do solo contribui para amenizar as condições microclimáticas das unidades.

Passos (2009) discutiu estratégias bioclimáticas para habitação nas cidades de Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar, localizadas em diferentes Mesorregiões Geográficas do Estado de Alagoas, na zona bioclimática 8, visando o conforto térmico, eficiência energética e sustentabilidade do espaço habitado. Os dados climatológicos destas cidades foram tratados através da análise estatística e metodologia do Dia Típico de Projeto e os resultados apontaram que há diferenças significativas no comportamento climático entre as três cidades, principalmente em relação à temperatura do ar, amplitude térmica, precipitação e direção dos ventos. Dessa forma, na discussão da Norma Brasileira NBR 15.220-3 (ABNT 2005) verificou-se que a zona bioclimática 8 não contempla as especificidades climáticas de cada cidade e que as estratégias bioclimáticas propostas pela Norma também não estão de acordo com os dados obtidos no trabalho, como por exemplo no tamanho da área das aberturas e a desumidificação do ar.

Rocha, Assis e Gonçalves (2009) apresentaram um processo de aperfeiçoamento dos resultados do zoneamento bioclimático para o estado de Minas Gerais por meio da metodologia das Tabelas de Mahoney, agregando dados regionais sobre vento. Os resultados indicaram, com a aplicação das Tabelas de Mahoney aos 1.717 pontos do território mineiro, a existência de grupos onde as resultantes de recomendações arquitetônicas apresentaram-se semelhantes. A comparação com os resultados da norma brasileira de desempenho térmico sobre o estado de Minas Gerais permitiu concluir que não houve semelhança entre as zonas bioclimáticas determinadas, a menos da zona 1 com a zona 4 da norma. Isso provavelmente ocorreu devido à consideração da topografia na interpolação dos dados.

Em Pelotas, Rio Grande do Sul, Curcio e Silva (2009) analisaram qualitativamente o desempenho térmico de um conjunto habitacional, construído através do Programa de Arrendamento Residencial - PAR da Caixa Econômica Federal. A avaliação foi feita de acordo com os parâmetros estabelecidos pela NBR

15575 – Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos (ABNT, 2010) e pela NBR 15220 – Desempenho térmico de edificações (ABNT, 2005). Os resultados das análises demonstraram que o conjunto atende as exigências em partes: em relação à NBR 15575 (ABNT, 2010) no quesito ventilação dos ambientes internos à habitação, a sala não possui o mínimo recomendado; em relação à NBR 15220 (ABNT, 2005), o empreendimento fica aquém das exigências em alguns critérios, entre eles, dimensões das aberturas, dispositivos de sombreamento e atraso térmico de paredes e cobertura.

Loura, Assis e Bastos (2011) analisaram comparativamente a envoltória de uma habitação do Rio de Janeiro utilizando como metodologia a norma NBR 15.575 (ABNT, 2010) e o RTQ-R – Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INMETRO, 2010). Os resultados obtidos identificaram que, apesar da norma ser um instrumento obrigatório a ser seguido, os níveis mínimos para o desempenho térmico da envoltória não foram conseguidos. Enquanto que no RTQ-R as análises concluíram que os níveis para a habitação são nível B, numa escala que vai de A (mais eficiente) a E (menos eficiente), indicando incoerência nos resultados obtidos, necessitando de mais estudos sobre a temática.

Esses trabalhos realizados foram importantes para a fundamentação desta pesquisa desde a preocupação climática no projeto e discussão da norma que divide o território brasileiro em zonas bioclimáticas, aos procedimentos metodológicos, onde foram utilizados modelos construtivos para avaliação do nível de desempenho térmico de habitações em comparação com as normas vigentes.

2.4. O USO DAS SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS EM DESEMPENHO TÉRMICO DE HABITAÇÕES

Prever o comportamento térmico de edificações envolve a análise de um grande número de parâmetros inter-relacionados. Por essa razão, cada vez mais o uso de modelos computacionais para simulação do desempenho térmico de edificações tem sido utilizado em pesquisas nas últimas décadas.

Uma das vantagens no uso dessas ferramentas está na previsão de efeitos térmicos para diversas situações, bem como na diminuição de tempo e esforço que demandariam um trabalho de campo para a determinação do comportamento térmico de uma edificação. Nesse sentido, há uma gama de possibilidades na modelagem de sistemas construtivos e operacionais que apontam para a criação de sistemas favoráveis em relação às variáveis climáticas (LUCAS et al, 2011).

Assim como as avaliações qualitativas, as pesquisas envolvendo simulações computacionais como ferramenta para a avaliação do desempenho térmico de habitações se consolidaram no mercado mundial há mais de uma década e encontra-se em constante evolução (PEDRINI; SZOKOLAY, 2005).

Mendes (2006) enfatiza que a utilização de programas computacionais no desempenho térmico tem sido cada vez maior, uma vez que é possível modelar um edifício real, diagnosticando seu desempenho e submetê-lo a diferentes características de materiais, tipologias, usos, iluminação, equipamentos, etc.

Venâncio e Pedrini (2011) corroboram afirmando que a decisão projetual arquitetônica influencia diretamente no desempenho térmico de uma edificação. Porém, o apoio a essas decisões ainda encontra-se de forma qualitativa. Ao fazer uso de ferramentas quantitativas o resultado pode certamente melhorar o desempenho projetual, atingindo níveis elevados de desempenho térmico do projeto. Exemplos de pesquisas com utilização de ferramentas computacionais para desempenho térmico de edificações são mostrados a seguir.

Em Londrina, Paraná, Barbosa (1997) desenvolveu uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico em edificações térreas residenciais unifamiliares. Tal metodologia consistiu em confirmar condições de conforto térmico da população local, ajustar uma ferramenta de simulação térmica horária anual frente a diferentes sistemas construtivos e estabelecer o limite de horas anuais de desconforto com base em um sistema construtivo referencial. Com os resultados destacou-se que, para o clima de Londrina, os sistemas construtivos de concreto monolítico ou de blocos de concreto são os adequados devido a alta inércia térmica ser importante para a redução das horas de desconforto na cidade.

Kruger e Givoni (2004) avaliaram o desempenho térmico em edificações ocupadas de habitação de interesse social em Curitiba, Paraná, através de medições *in loco* e simulações computacionais com o software CONFIE. Os resultados apontaram boas concordâncias entre os dados observados nas medições e os simulados.

Em Marau, Rio Grande do Sul, Spannenberg (2006) analisou o desempenho térmico de três sistemas construtivos diferentes em habitação de interesse social por meio de comparações entre simulações computacionais através do programa computacional Energy Plus, na interface do E2AC, e análises comportamentais. Em apenas um dos modelos analisados os resultados das simulações de desempenho térmico foram de acordo com as pesquisas comportamentais. Quanto à satisfação da ventilação, 100% afirmaram estar satisfeitos, apesar de as aberturas estarem inadequadas quanto ao dimensionamento. Foi constatado também que as aberturas não possuem proteção solar externa, e que nos critérios o sistema de cobertura, telhas e pintura externa faz-se necessária mais atenção, pois não atendem à norma NBR 15220 (ABNT, 2005).

Em Passo Fundo, Rio Grande do Sul, Menezes (2006) avaliou unidades habitacionais através de medições *in loco* e de simulações computacionais utilizando o programa computacional Energy Plus. Foi observada a baixa qualidade do projeto, materiais e mão-de-obra utilizada. Com relação ao projeto, verificou-se que grande parte das habitações não contempla os espaços mínimos requeridos pelos usuários. Também foi utilizado o mesmo projeto para a maioria dos núcleos habitacionais construídos sem, ao menos, se fazer às adequações necessárias de acordo com as condições topográficas e geográficas de cada local. No entanto, os resultados da pesquisa permitiram concluir que a maioria dos parâmetros das habitações estudadas estava dentro daqueles estabelecidos pela norma NBR 15220 (ABNT, 2005).

Em Natal, Rio Grande do Norte, Cunha, Tinôco e Pedrini (2007) desenvolveram um anteprojeto de uma habitação popular a partir do projeto de uma casa padrão. A habitação está localizada no campus da Universidade Federal do Rio Grande do Norte e está inserida dentro das atividades do projeto de pesquisa Rede de Pesquisa em Eficiência Energética de Sistemas Construtivos/Habitare

(FINEP/CNPQ) que visa avaliar o desempenho térmico de uma habitação *in loco*. Os esboços seguiram as recomendações básicas do design passivo como auxílio à tomada de decisões projetuais, tais como aumento da envoltória e a disposição dos cômodos e aberturas em relação à ventilação dominante. A comparação das simulações computacionais entre o projeto inicial e a proposta através de programas computacionais como o Ecotect V.5.20 (MARSH, 2003) para o estudo do sombreamento e o VisualDOE 4 (ELEY ASSOCIATES, 2000) para o desempenho térmico. Os resultados apontaram redução na temperatura do ar interno suficiente para atender conforto térmico dos seus usuários na maioria das horas do ano. Reflexões feitas sobre a ventilação e o sombreamento mostram que a orientação é a variável com maior influência no desempenho final.

Também para a cidade de Natal, Rio Grande do Norte, Negreiros (2008) analisou o desempenho térmico de um protótipo de habitação de interesse social a partir de simulações realizadas no Design Builder 1.0 (DESIGNBUILDER SOFTWARE LTD, 2010), com o objetivo de caracterizar o comportamento térmico dessa habitação através da análise de fluxo de calor de seus fechamentos. Foi analisada a temperatura de bulbo seco interna e complementada pela proposta de adaptabilidade de DeDear e Brager (2002)³. O protótipo desenvolvido buscou aliar estratégias de conforto térmico para climas quentes e úmidos, sendo a ventilação cruzada e o sistema construtivo otimizados. Os resultados da simulação computacional apontaram que o protótipo atingiu temperaturas internas mais elevadas que as externas em 85% das horas do ano, e de acordo com a equação de adaptabilidade, 15% das horas do ano encontram-se na zona de desconforto ao frio, 30% das horas em zona de desconforto ao calor e 55% das horas encontra-se na zona de conforto e que os grandes responsáveis por isso foram a cobertura, vidros e paredes, respectivamente.

Em Maceió, Alagoas, Lima (2010) analisou o desempenho termo-energético de um edifício multifamiliar vertical e a influência do sombreamento promovido pela

³ Propõem uma faixa de conforto térmico que relaciona a temperatura média do ar externo com um intervalo de temperatura operativa interna. Os limites de conforto para edificações nesse modelo são definidos por $T_c \pm 2,5^\circ\text{C}$ para 90% de pessoas satisfeitas e $T_c \pm 3,5^\circ\text{C}$, para 80% (DeDear; Brager, 2002).

utilização de dispositivo de proteção solar e arranjo construtivo do entorno imediato, como também da absorvância da envoltória através da simulação computacional com o programa computacional Energy Plus. Os resultados apontaram que o sombreamento do arranjo construtivo na orientação sudeste em dia típico de verão influenciou o desempenho térmico nos ambientes localizados no pavimento térreo e em uma menor proporção no pavimento intermediário. Já em dia típico de inverno pouco foi observada a influência do sombreamento. Os protetores solares introduzidos em um segundo modelo contribuíram para reduções da temperatura interna principalmente nas zonas localizadas no pavimento intermediário e 4º pavimento. A ausência do entorno, por outro lado, não interferiu significativamente nas transmissões solares e conseqüentemente nos ganhos de calor das zonas do 4º pavimento. Entretanto, contribuiu para o aumento desses ganhos nos ambientes localizados no térreo. O modelo padrão e sistema construtivo dessa pesquisa foram utilizados na presente dissertação como modelo de referência e base para os demais modelos desenvolvidos e analisados por meio de simulações computacionais e comparações entre os eles.

Lucas et al (2011) avaliaram o desempenho térmico de diferentes fechamentos verticais de habitações em Pelotas, Rio Grande do Sul, através do programa computacional Design Builder (DESINGBUILDER, 2000-2010) para verificar alterações decorrentes de um caso base. Os resultados apontam que, com a redução das absorvâncias das paredes externas, a condutividade dos elementos de fechamento vertical não é importante. Quando se altera a massa térmica das paredes internas, a temperatura interna aumenta devido ao maior acúmulo de calor da edificação, concluindo que as estratégias para melhoramento do desempenho da edificação devem ser pensadas em conjunto e que a modificação apenas dos planos verticais não são suficientes para alcançar níveis satisfatórios de desempenho térmico da edificação.

Também para Pelotas, Rio Grande do Sul, Oliveira, Silva e Cunha (2011) verificaram as condições de conforto térmico de cinco configurações diferentes de plano horizontal e vertical do envelope construído, utilizando persianas nos fechamentos transparentes em uma habitação utilizando o programa computacional Design Builder v. 2.0 (DESINGBUILDER, 2000-2010). Os resultados da avaliação

propõem o uso de pintura na cor branca para aumentar o conforto térmico em todas as estações do ano, pois além de evitar ganhos de calor no verão, impede a saída de calor pelas paredes e superfícies transparentes durante o inverno.

Os parâmetros analisados nos trabalhos apresentados foram fundamentais na elaboração desta pesquisa pois trata da simulação computacional como ferramenta para a avaliação do desempenho térmico em habitações, observando seus aspectos técnico-construtivos a partir de um caso base e seus desmembramentos, utilizando uma interface do programa computacional Energy Plus como instrumento de avaliação.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos utilizados para o desenvolvimento do trabalho são: **escolha de cidades dentro do contexto climático da zona bioclimática 8**, para análise segundo critérios pré-estabelecidos; **simulações computacionais** utilizando os programas SketchUp Pro 7 e Design Builder Versão 2.0.4.002 (DESIGNBUILDER, 2005-2010); e **análise comparativa** entre os resultados obtidos.

3.1. ESCOLHA DAS CIDADES DENTRO DO CONTEXTO CLIMÁTICO DA ZONA BIOCLIMÁTICA 8

Para a escolha das cidades brasileiras para análise, foram estabelecidos os seguintes critérios descritos a seguir:

3.1.1. Disponibilidades de dados climáticos

Dentro do contexto da zona bioclimática 8 são nas capitais onde há a maior disponibilidade de dados climáticos obtidos através de arquivos do tipo TRY (Ano Climático de Referência⁴). Esses arquivos são necessários para compor os arquivos com extensão EPW, arquivos climáticos compatíveis para simulações computacionais de desempenho térmico de edificações no programa computacional EnergyPlus (LABEEE, 2010).

⁴ Ano Climático de Referência ou Test Reference Year – TRY – foi desenvolvido pelo National Climatic Center e de acordo com Stamper (1977) este procedimento é baseado na eliminação de anos de dados, através de suas temperaturas médias mensais extremas (altas ou baixas) até que permaneça um ano, apenas, e este é designado como o Ano Climático de Referência para a cidade, contendo informações climáticas para as 8.760 horas do ano (GOULART, LAMBERTS, FIRMINO, 1998).

Sendo assim, as capitais pertencentes à zona bioclimática 8 são: *Porto Velho* (Rondônia); *Rio Branco* (Acre); *Manaus* (Amazonas); *Boa Vista* (Roraima); *Macapá* (Amapá); *Belém* (Pará); *São Luís* (Maranhão); *Fortaleza* (Ceará); *Natal* (Rio Grande do Norte); *João Pessoa* (Paraíba); *Recife* (Pernambuco); *Maceió* (Alagoas); *Aracaju* (Sergipe); *Salvador* (Bahia); *Vitória* (Espírito Santo); e *Rio de Janeiro* (Rio de Janeiro).

Dentre elas, as que possuem arquivos do tipo TRY são: *Belém* (Pará); *São Luís* (Maranhão); *Fortaleza* (Ceará); *Natal* (Rio Grande do Norte); *Recife* (Pernambuco); *Maceió* (Alagoas); *Salvador* (Bahia); *Vitória* (Espírito Santo); e *Rio de Janeiro* (Rio de Janeiro).

Desse modo, as nove capitais que atendem ao primeiro critério estabelecido para a escolha foram agrupadas de acordo com sua região geográfica, e, a partir da análise de suas temperaturas médias mensais durante o período de 1961 a 1990 (BRASIL,1992), e das diferenças entre suas latitudes, foram escolhidas conforme mostram as tabelas a seguir (Tabela 5 e Tabela 6). Assim sendo, desta listagem de capitais, foram escolhidas as 5 capitais hachuradas.

Tabela 5 – Comportamento das temperaturas médias mensais e anuais das capitais da zona bioclimática 8 que possuem arquivos tipo EPW e as capitais escolhidas em destaque.

Capitais	Temperatura média mensal e anual (°C)												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Belém	26,6	24,5	25,5	26,7	25,9	25,9	25,8	26,0	26,1	26,4	26,4	26,1	25,9
São Luís	26,1	25,7	25,8	25,8	25,9	25,9	25,7	26,0	26,4	26,6	27,0	26,8	26,1
Fortaleza	27,3	26,7	26,3	26,5	26,3	25,9	25,7	26,1	26,6	27,0	27,2	27,3	26,5
Natal	27,7	27,3	27,2	26,8	26,2	25,4	25,7	24,8	25,8	26,5	26,7	27,1	26,4
Recife	26,6	26,6	26,5	25,9	25,2	24,5	24,0	23,9	24,6	25,2	25,9	26,7	25,4
Maceió	26,2	26,3	25,3	25,9	25,1	24,3	23,7	23,5	23,9	24,1	24,4	24,8	24,7
Salvador	26,5	26,6	26,7	26,1	25,1	24,2	23,6	23,6	24,2	25,0	25,6	26,0	26,2
Vitória	26,4	26,9	26,5	25,2	23,7	22,5	21,7	22,1	23,0	24,0	24,4	25,4	24,3
Rio de Janeiro	26,2	26,5	26,0	24,5	23,0	21,5	21,4	21,8	21,8	22,7	24,2	25,2	23,7

Fonte: BRASIL, 1992.

Tabela 6 – Lista de capitais brasileiras a serem analisadas.

Capital	Estado	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Belém	PA	-1.27	-48.30	10
Fortaleza	CE	-3.43	-38.32	21
Maceió	AL	-9.39	-35.44	7
Salvador	BA	-12.58	-38.30	8
Rio de Janeiro	RJ	-22.54	-43.12	380

Fonte: IBGE, 2010.

Das capitais escolhidas há pelo menos uma representante de cada região geográfica inserida na Zona Bioclimática 8: Norte, Nordeste e Sudeste. Procurou-se, então, escolher as capitais a intervalos representativos de latitudes, entre elas: 2'16° entre Belém e Fortaleza; 5'96° entre Maceió e Fortaleza; 3'19° entre Salvador e Maceió; e 9,96° entre Rio de Janeiro e Salvador.

3.2. SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

Para a avaliação de desempenho térmico de habitações, a Norma 15220-2 (ABNT, 2005) estabelece três procedimentos, dentre os quais a simulação computacional aparece como Procedimento 2 e será seguido no presente trabalho.

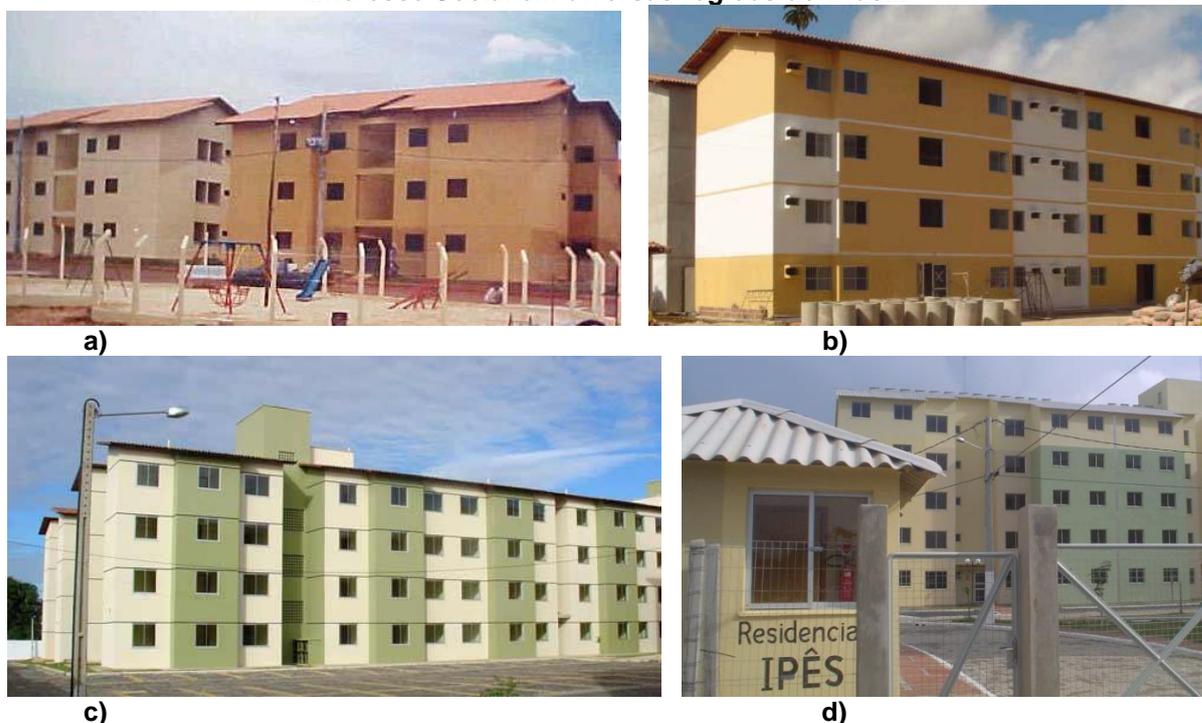
3.2.1. Definição dos modelos adotados

A crescente e constante padronização de projetos direcionados à habitação popular implantados no país é evidenciada na Figura 5 a seguir, onde é perceptível a pouca ou nenhuma diferença arquitetônica entre os empreendimentos locados em diferentes regiões do país.

Em geral, esses conjuntos possuem projetos fundamentados em 4 pavimentos, sendo um deles o térreo, com calçadas rodeando todo o seu perímetro; unidades com áreas mínimas de 37m², divididas entre dois quartos, sala, cozinha e banheiro; apresentando piso cerâmico ou ardósia; paredes de áreas molhadas em azulejo; vãos de porta com folha em todos os cômodos; revestimento e pintura

interna e externa; telha cerâmica; laje de teto nos banheiros e forro de pvc nos demais cômodos do último pavimento (CAIXA, 2009).

Figura 5 – Exemplos de implementação de conjuntos residenciais destinados à Habitação de Interesse Social em diversas regiões do Brasil.



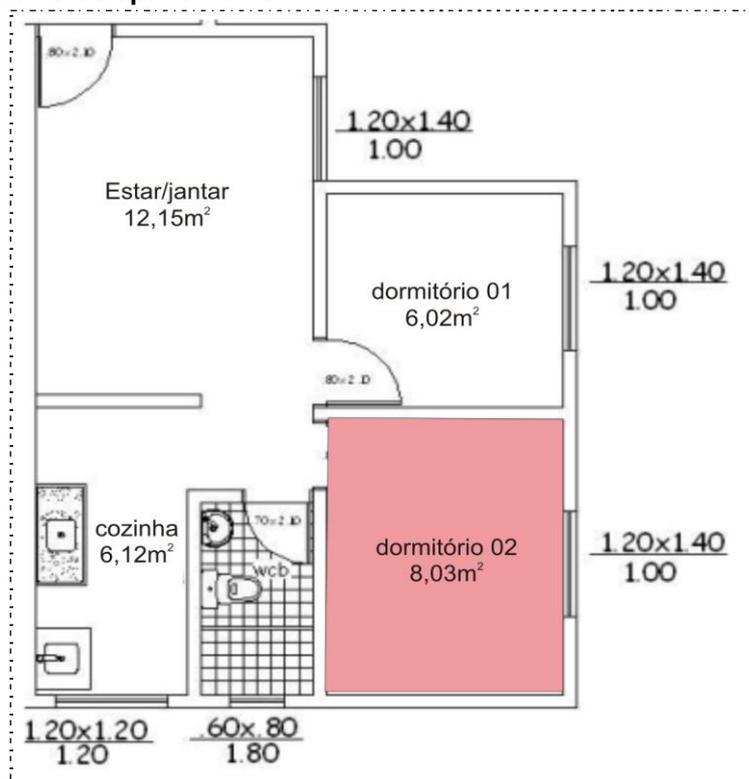
a) Cuiabá – MT; b) Rio de Janeiro; c) Fortaleza – CE; d) Canoas – RS.
 Fonte: a) Lima, 2010; b) Prefeitura do Rio de Janeiro; c) Pedro Ricardo Arquitetura;
 d) Prefeitura de Canoas, RS. Acesso em 10 de maio de 2010.

Sendo assim, a presente pesquisa adotou quatro modelos para as análises e simulações computacionais: um **modelo de referência**, correspondente a prática recorrente; e três alterações a partir desse modelo: o **modelo modificado 01**; o **modelo modificado 2**, e o **modelo modificado 02 com proteção solar**, que serão descritos a seguir.

O **modelo de referência** utilizado foi o adotado por Lima (2010), resultado de uma pesquisa entre 32 edifícios verticais do empreendimento tipo PAR – Programa de Arrendamento Residencial – da Caixa na cidade de Maceió – AL, culminando num modelo recorrente. Suas características físicas são: área interna total de 38m², dividida em 2 quartos, salas e cozinha integradas e banheiro; pé-direito de 2,55 m, conforme a tipologia típica desses empreendimentos; aberturas de 1,20 x 1,40 m; exceto área de serviço (1,20 x 1,20 m) e wcb (0,60 x 0,80 m).

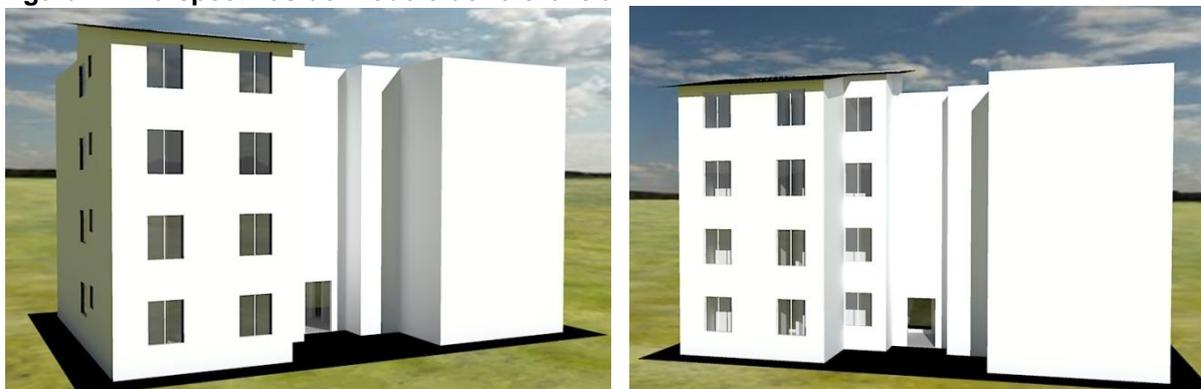
O dormitório 02 foi o escolhido para as simulações, uma vez que se trata de um ambiente de permanência de acordo com a norma NBR 15220-3 (ABNT, 2005), sua abertura para ventilação encontra-se na mesma orientação das aberturas do dormitório 01, porém, possui maior área interna. A planta baixa do apartamento tipo, com o dormitório 02 em destaque, bem como a perspectiva do modelo podem ser vistas nas figuras a seguir (Figura 6 e Figura 7).

Figura 6 – Planta baixa do apartamento.



Sem escala. Fonte: Adaptado de LIMA, 2010.

Figura 7 – Perspectivas do modelo de referência.



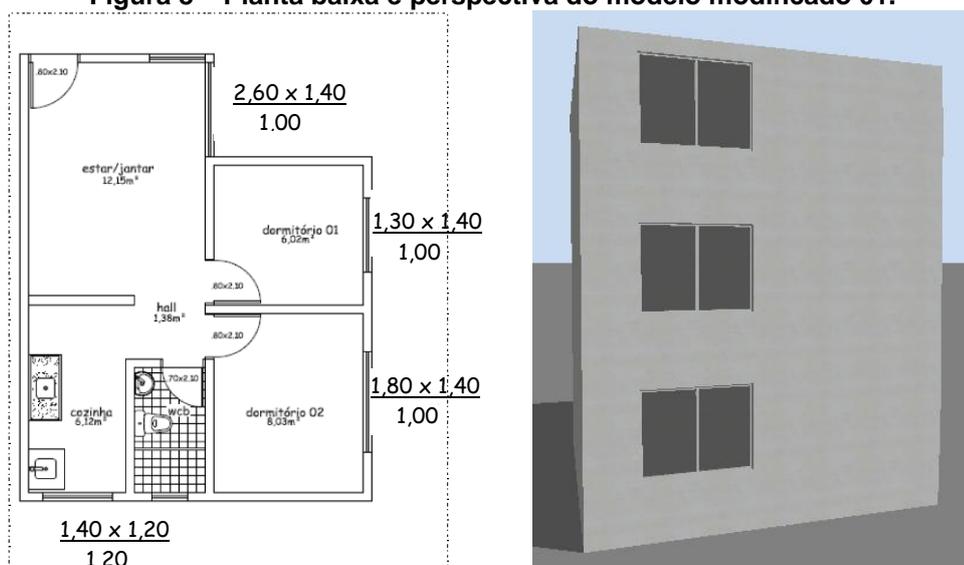
O **modelo modificado 01** compõe o modelo de referência modificado quanto aos vãos das aberturas efetivas para ventilação em 15% da área do piso, aumentadas de acordo com as especificações da NBR 15575 (ABNT, 2010). Nestas áreas, segundo a norma NBR 15220-3 (ANBT, 2005), não são consideradas áreas de perfis de vidro ou qualquer outro elemento e áreas de portas, sendo, portanto, apenas relacionada à área de aberturas que permitam a livre circulação do ar.

Desta maneira, o modelo modificado 01 possui alterações de janelas conforme mostra a Tabela 7. Reforça-se que as esquadrias necessitam ser de tipologias que garantam os vãos livres propostos para se conseguir o mínimo de 15% da área do piso em cada ambiente. Isso posto, a planta baixa do modelo modificado 01 e sua perspectiva são mostradas na Figura 8.

Tabela 7 – Medidas das aberturas livres para ventilação de cada ambiente de permanência propostas para o modelo modificado 01 (l = largura, a = altura, p = peitoril).

Ambiente	Áreas	Janelas do modelo de referência (l x a / p) (m)	Aberturas para livre ventilação (l x a / p) (m)	Janelas (l x a / p) (m) do modelo modificado 01
Salas estar/jantar	12,15m ²	<u>1,20x1,40</u> 1,00	<u>1,30x1,40</u> 1,00	<u>2,60x1,40</u> 1,00
Dormitório 01	6,02m ²	<u>1,20x1,40</u> 1,00	<u>0,65x1,40</u> 1,00	<u>1,30x1,40</u> 1,00
Dormitório 02	8,03m ²	<u>1,20x1,40</u> 1,00	<u>0,90x1,40</u> 1,00	<u>1,80x1,40</u> 1,00
Cozinha	6,12m ²	<u>1,20x1,20</u> 1,20	<u>0,70x1,20</u> 1,20	<u>1,40x1,20</u> 1,20

Figura 8 – Planta baixa e perspectiva do modelo modificado 01.



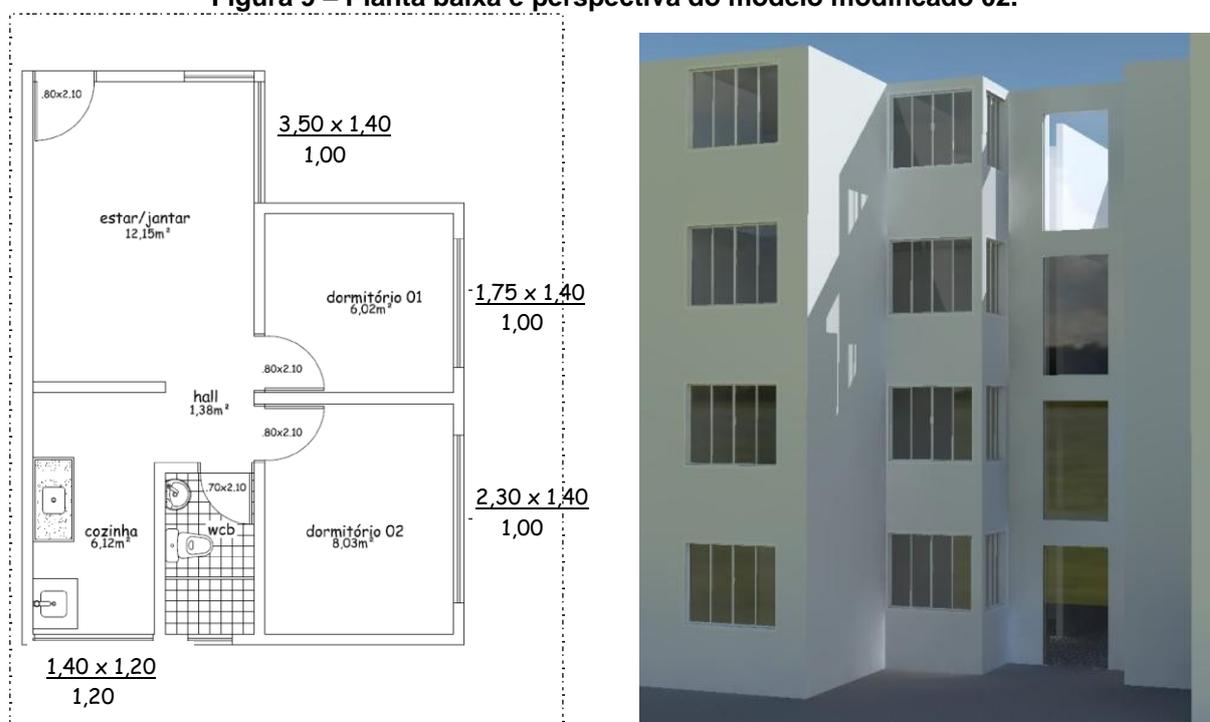
Sem escala. Fonte: Adaptado de Lima (2010).

O **modelo modificado 02** corresponde ao modelo de referência com os vãos de aberturas livres para ventilação fundamentados nas recomendações da Norma Técnica NBR 15220-3 (ABNT, 2005) para a Zona Bioclimática 8. Assim sendo, as áreas dessas aberturas devem possuir, no mínimo, 40% da área do piso. Não são consideradas áreas de perfis de vidro ou qualquer outro elemento e áreas de portas, sendo, portanto, apenas relacionada à área de aberturas que permitam a livre circulação do ar. Logo, possui as alterações de vãos de esquadrias de janelas conforme estão descritas na tabela a seguir (Tabela 8).

Tabela 8 – Medidas das aberturas livres para ventilação de cada ambiente de permanência propostas para o modelo modificado 02 (l = largura, a = altura, p = peitoril).

Ambiente	Áreas	Janelas do modelo de referência (l x a / p) (m)	Aberturas para livre ventilação (l x a / p) (m) segundo a Norma 15220-3
Salas estar/jantar	12,15m ²	<u>1,20x1,40</u> 1,00	<u>3,50x1,40</u> 1,00
Dormitório 01	6,02m ²	<u>1,20x1,40</u> 1,00	<u>1,75x1,40</u> 1,00
Dormitório 02	8,03m ²	<u>1,20x1,40</u> 1,00	<u>2,30x1,40</u> 1,00
Cozinha	6,12m ²	<u>1,20x1,20</u> 1,20	<u>1,40x1,20</u> 1,20

Figura 9 – Planta baixa e perspectiva do modelo modificado 02.



Sem escala. Fonte: Adaptado de Lima (2010).

O **modelo modificado 02 com proteção solar** possui as mesmas características de aberturas de janela do modelo modificado 02, porém com a adição de proteção solar adequada a cada cidade estudada.

3.2.2. Programas computacionais

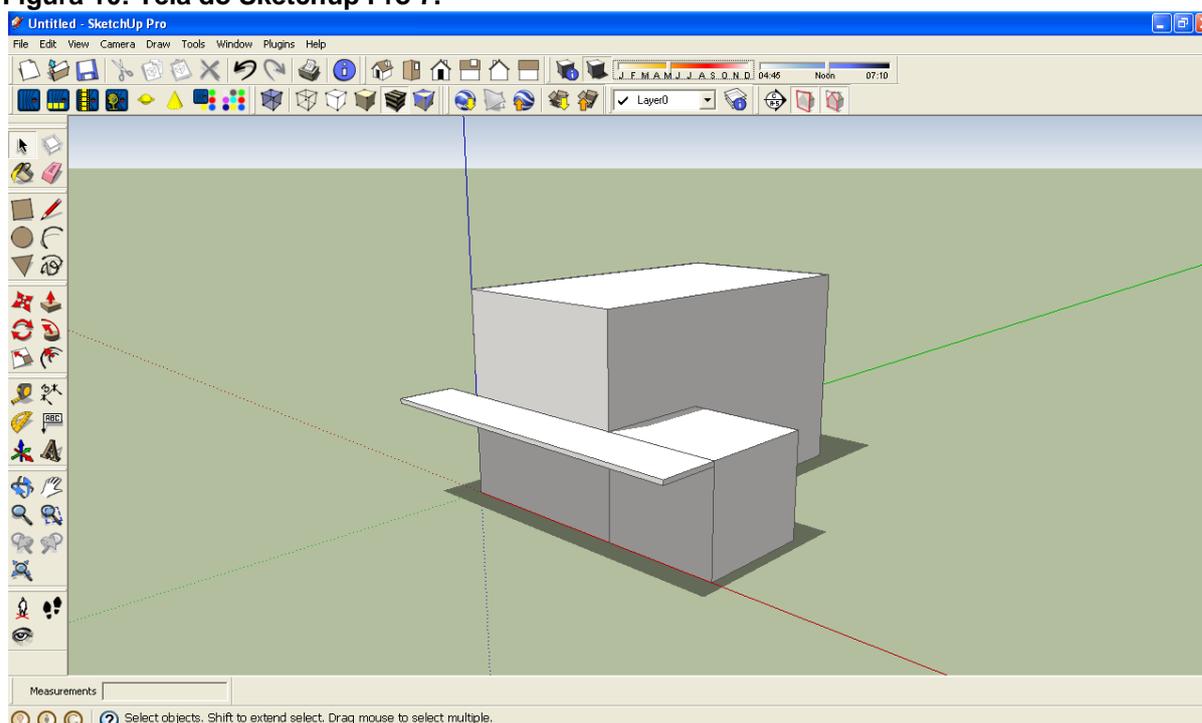
As análises de unidades habitacionais no contexto das cidades escolhidas foram realizadas através de simulações computacionais utilizando os programas SketchUp Pro 7 (GOOGLE, 2010) e Design Builder (DESIGNBUILDER, 2005-2010), considerando-se os solstícios de inverno (22 de junho) e verão (22 de dezembro) para o estudo da insolação das fachadas e o ano todo para o estudo do desempenho térmico.

3.2.2.1. Estudo da insolação das fachadas

O SketchUp Pro 7 (GOOGLE, 2010) é um programa computacional gratuito cuja interface agradável permite criar e editar modelos 3D, desenhando ou importando arquivos bi ou tridimensionais provenientes do AutoCad⁵ para redesenhá-los. Conta também com uma ferramenta que mostra o estudo da insolação/sombreamento das fachadas na cidade escolhida, inserindo sua latitude e longitude, nos dias e horas pretendidos⁶ (Figura 10).

⁵ O AutoCad é um programa computacional e é utilizado mundialmente para criação de desenhos e projetos no computador (SANTOS, 2010).

⁶ Informações disponíveis em <<http://sketchup.google.com/intl/pt-BR/>>. Acesso em 30 de maio de 2011.

Figura 10: Tela do SketchUp Pro 7.

Fonte: GOOGLE, 2010.

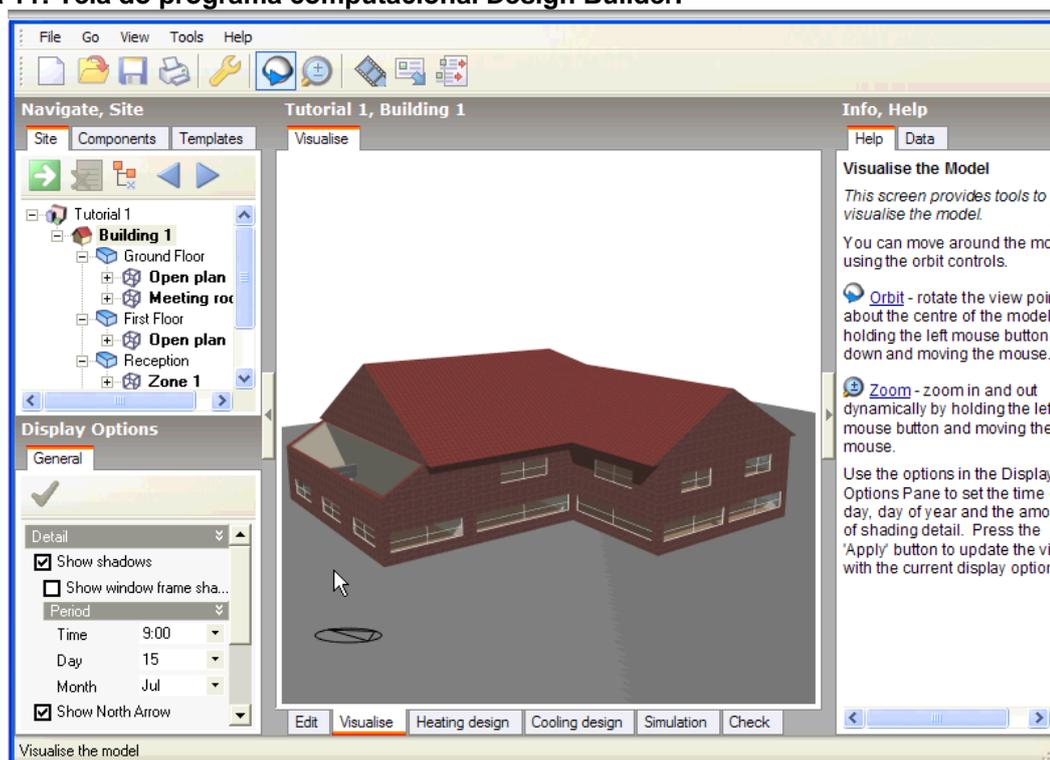
Através desse programa computacional foram feitas simulações das condições de insolação das fachadas do modelo em quatro condições de orientação (norte, leste, sul e oeste), em duas diferentes horas do dia (9h e 15h) para cada cidade. Por fim, foi identificada fachada e um horário considerado crítico dentre os estudados, baseado na exposição de radiação solar direta nos dormitórios, ambientes considerados de permanência pela NBR 15575 (ABNT, 2010), e, a partir de sua carta solar foram projetados protetores solares, uma vez que o sombreamento das aberturas é agente importante no desempenho térmico de habitações de clima quente e úmido.

3.2.2.2. Estudo do comportamento térmico dos modelos

O programa computacional Design Builder (DESIGNBUILDER, 2005-2010) constitui uma ferramenta para controle de energia do edifício, condições de conforto ambiental, conforto térmico e lumínico, com análises em intervalos anuais, mensais, diários, horários e sub-horários. Trata-se de uma interface gráfica acessível para o

programa de simulação térmica dinâmica EnergyPlus⁷ e permite a criação de modelos bi e tridimensionais, simples ou complexos, animações e gráficos de desempenho a qualquer etapa de projeto, além de importar arquivos bidimensionais do AutoCad para ser redesenhado no programa (Figura 11).

Figura 11: Tela do programa computacional Design Builder.



Template pré-configurado de edificação. Fonte: DESIGNBUILDER, 2005-2010.

Nas simulações com o Design Builder (DESIGNBUILDER, 2005-2010) os cômodos são divididos em “zonas térmicas”, sendo consideradas quatro zonas por apartamento: 1) salas estar/jantar; 2) dormitório 01; 3) dormitório 02; 4) cozinha e wcb; e faz-se necessário a inserção de dados climáticos das cidades no programa, extraídos através de arquivos no formato EPW; e as características construtivas dos materiais utilizados na edificação.

Foi escolhido o **dormitório 02** para ser estudado em cada capital, em todos os modelos, no **pavimento intermediário** (1º pavimento), uma vez que não sofre a

⁷ O programa computacional EnergyPlus foi elaborado pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos e consiste em uma ferramenta para a avaliação do desempenho do edifício que permite simular os sistemas de aquecimento, iluminação e ventilação, de forma a quantificar seu consumo de energia.

interferência da temperatura do solo e da cobertura no seu desempenho térmico, e sua fachada orientada para as **orientações Norte e Sul** durante **todo o ano**.

As **rotinas (dados de entrada) de ocupação** consideradas foram de uma família média, 1 casal e 2 filhos, sendo as 2 crianças ocupando o dormitório 02, resultando 0,20 pessoas/m². As **rotinas de iluminação** seguiram o padrão de uma lâmpada fluorescente compacta de 15 W, acesa das 18h00min às 22h00min, horário noturno de ocupação do cômodo.

As **rotinas de aberturas** foram consideradas com 50% da área aberta entre as 06h00min às 22h00min e entre as 22h00min e 06h00min com 25% de área aberta e com uso exclusivo de ventilação natural durante todo o dia, em todos os modelos. Como o ambiente simulado foi o dormitório 02, não houve rotinas para equipamentos de trabalho.

O **sistema construtivo** adotado para as simulações é baseado em Lima (2010) e foi fundamentado na Norma Técnica NBR 15220 (ABNT, 2005) e nas especificações mínimas do PAR – Programa de Arrendamento Residencial da Caixa Econômica Federal (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2010), discriminado na Tabela 9 a seguir.

Tabela 9 – Propriedades construtivas dos modelos computacionais.

Material	Condutividade térmica [W/m.K]	Densidade [Kg/m ³]	Calor Específico [J/Kg.K]	Absortância
Argamassa externa com textura Suvinil na cor Amarelo Antigo.	1.15	1800	1000	0.63
Argamassa interna 1,5cm com pintura Suvinil PVA látex na cor Branco gelo.	1.15	1800	1000	Térmica:0.2; Solar: 0.91; Visível:0.26.
Argamassa de assentamento 1,5cm.	1.15	2000	1000	0.7
Concreto armado espessura: 9cm.	1.75	2300	1000	0.7
Bloco cerâmico 2 furos com argamassa, esp.: 14cm	0.90	3732	920	0.7
Piso cerâmico	0.90	1600	920	0.9
Forro em PVC branco.	0.2	1300	960	0.20
Portas internas em Madeira compensada na cor grafite.	0.14	600	2300	0.7
Vidro liso, esp.: 3mm – Transmitância solar: 0.84				

Fonte: Adaptado de LIMA (2010).

3.3. ANÁLISE DOS DADOS

Os resultados das simulações do comportamento térmico dos modelos foram transferidos para planilhas eletrônicas, nas quais foram criados gráficos com intervalos horários de temperatura do ar interna resultante em cada modelo estudado, com o objetivo de comparar a predição de temperatura do ar interna resultante e a classificação de conforto térmico para cada cidade.

Foram adotados índices de conforto térmico baseados em estudos de Pereira e Assis (2010) em concordância ao índice adaptativo⁸ de DeDear e Bragger (2002) e com seu aprimoramento em Peeters et al (2009). Esses autores revisaram índices adaptativos recentes e propuseram escalas de conforto, baseadas em temperaturas de neutralidade, consideradas aceitáveis para edificações residenciais do clima quente e úmido e os dividiu em três zonas: **banheiros**, **dormitórios** e **demais cômodos**.

Os **banheiros**, segundo os autores, são os ambientes onde há um limite crítico mínimo de temperatura, devido ao corpo estar geralmente sem vestimenta e molhado. Desse modo, a temperatura de neutralidade é expressa através da Equação 2 a seguir.

$$T_n = 0.306 \cdot T_{e,ref} + 20.32 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2)$$

Onde:

T_n : Temperatura de neutralidade

$T_{e,ref}$: Temperatura externa de referência

Nos **dormitórios** a temperatura de neutralidade é conseguida através de quatro formas diferenciadas, para localidades com velocidade do ar elevadas no verão (Equações 3, 4, 5 e 6).

⁸ Buscam reproduzir as condições reais, nas quais o indivíduo também é agente nas condições térmicas do ambiente, ao interagir com o meio (PEREIRA; ASSIS, 2010, p. 33).

$$T_n = 16^\circ\text{C para } T_{e,\text{ref}} < 0^\circ\text{C} \quad (3)$$

$$T_n = 0.23 T_{e,\text{ref}} + 16 \text{ para } 0^\circ\text{C} \leq T_{e,\text{ref}} < 12.6^\circ\text{C} \quad (4)$$

$$T_n = 0.77 T_{e,\text{ref}} + 9.18 \text{ para } 12.6^\circ\text{C} \leq T_{e,\text{ref}} < 21.8^\circ\text{C} \quad (5)$$

$$T_n = 26^\circ\text{C para } T_{e,\text{ref}} \geq 21.8^\circ\text{C} \quad (6)$$

Onde:

T_n : Temperatura de neutralidade

$T_{e,\text{ref}}$: Temperatura externa de referência

Para os **demais cômodos**, as seguintes equações são consideradas (Equações 7 e 8).

$$T_n = 20.4 + 0.06 \cdot T_{e,\text{ref}} \text{ para } T_{e,\text{ref}} < 12.5 \text{ oC} \quad (7)$$

$$T_n = 16.63 + 0.36 \cdot T_{e,\text{ref}} \text{ para } T_{e,\text{ref}} \geq 12.5 \text{ oC} \quad (8)$$

Onde:

T_n : Temperatura de neutralidade

$T_{e,\text{ref}}$: Temperatura externa de referência

Para alcançar as **faixas de conforto térmico** para edificações residenciais de climas quentes e úmidos, consideram-se as equações a seguir (Equações 9 e 10).

$$T_{\text{upper}} = T_n + w \cdot \alpha \quad (9)$$

$$T_{\text{lower}} = T_n - w (1 - \alpha) \quad (10)$$

Onde:

T_{upper} = Temperatura superior

T_{lower} = Temperatura inferior

T_n : Temperatura de neutralidade

w : 5 °C – para aceitabilidade de 90%

α : 0,7– para aceitabilidade de 90%

Para obter as faixas de conforto térmico para as cidades analisadas neste trabalho foram utilizadas as equações 6, 9 e 10. A equação 6 trata da temperatura de neutralidade para dormitórios, indicando que, para temperaturas externas maiores ou iguais a $21,8^{\circ}\text{C}$, sugere-se uma temperatura de neutralidade é de 26°C .

As equações 9 e 10 propõem os limites superiores e inferiores, respectivamente, de conforto térmico interno. O percentual de aceitabilidade adotado foi de 90% de aceitabilidade, onde as temperaturas registradas abaixo dessa variação foram consideradas em desconforto por frio, e as registradas acima do limite superior da zona de conforto térmico, em desconforto por calor. A ocorrência de temperaturas dentro dos limites da zona de conforto aponta a situação de conforto térmico.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

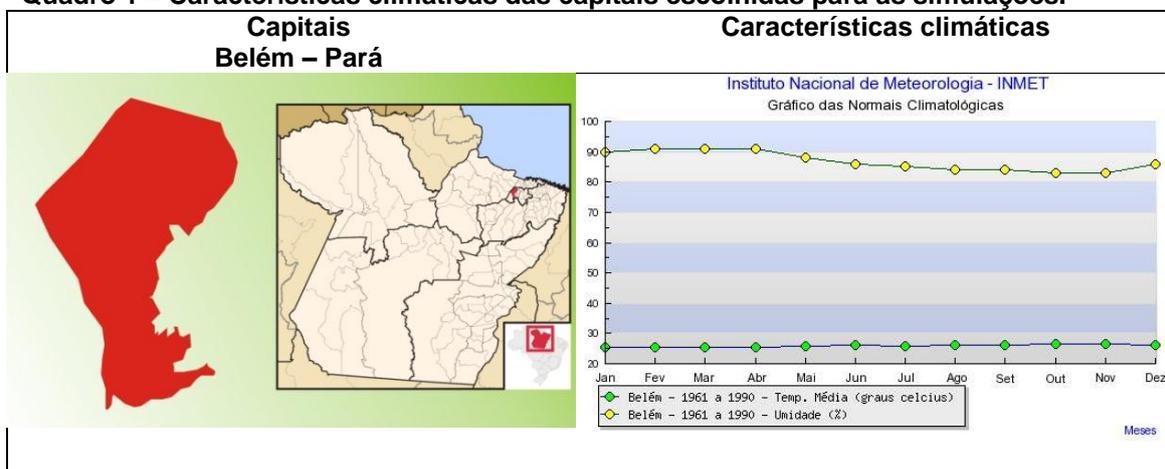
Nesta seção são apresentados os resultados e discussões acerca do perfil climático das capitais estudadas; do estudo da insolação das fachadas do modelo de referência; da análise das aberturas efetivas para ventilação; e das simulações anuais de desempenho térmico nos três modelos simulados.

4.1. PERFIL CLIMÁTICO

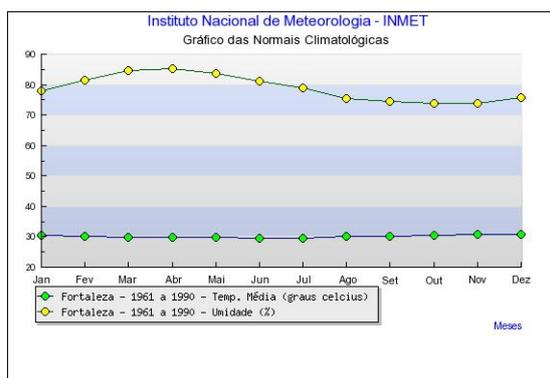
O território brasileiro situa-se, quase em totalidade, em baixas latitudes, estendendo-se desde 5°16' de latitude norte a 33°45' de latitude sul. Possui grande influência tropical, uma vez que a Linha do Equador e o Trópico de Capricórnio atravessam as terras brasileiras. A região Norte e parte da Centro-Oeste possuem os climas equatorial úmido e equatorial subúmido, enquanto no Nordeste, Sudeste e parte do Centro-Oeste predomina o clima tropical.

Sabendo-se dessa pluralidade de climas e especificidades, serão apresentadas as características climáticas gerais das capitais estudadas (Quadro 1), tomando como base o referencial teórico existente e dados extraídos do IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística e INMET – Instituto Nacional de Meteorologia (dados do período entre 1961 e 1990).

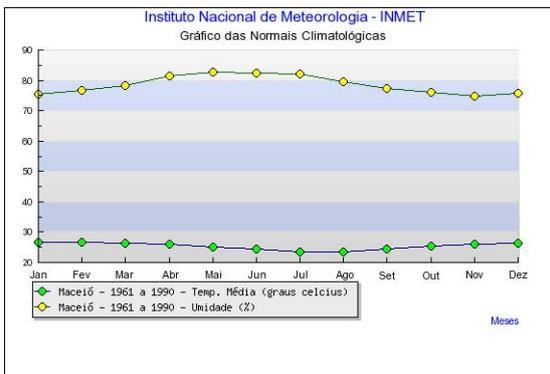
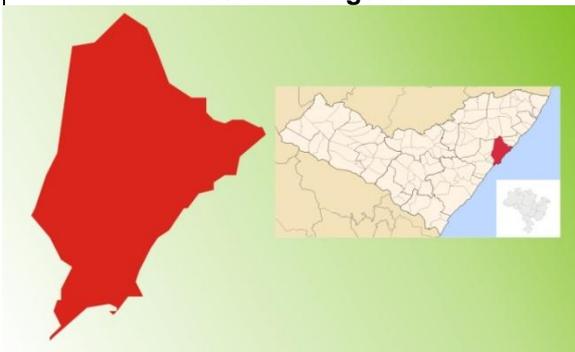
Quadro 1 – Características climáticas das capitais escolhidas para as simulações.



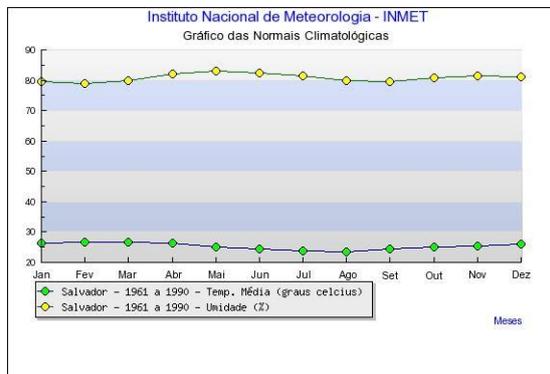
Fortaleza – Ceará



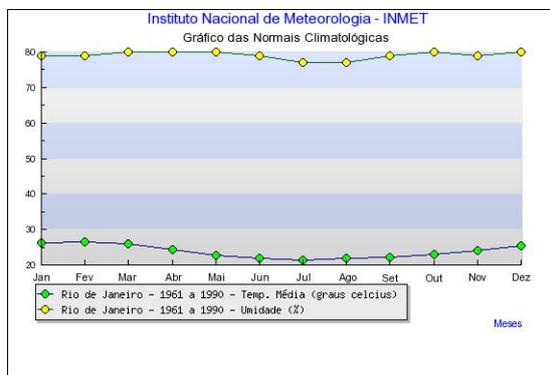
Maceió – Alagoas



Salvador – Bahia



Rio de Janeiro – Rio de Janeiro



Fonte: BRASIL, 1992.

4.2. ESTUDO DA INSOLAÇÃO DAS FACHADAS NO MODELO DE REFERÊNCIA

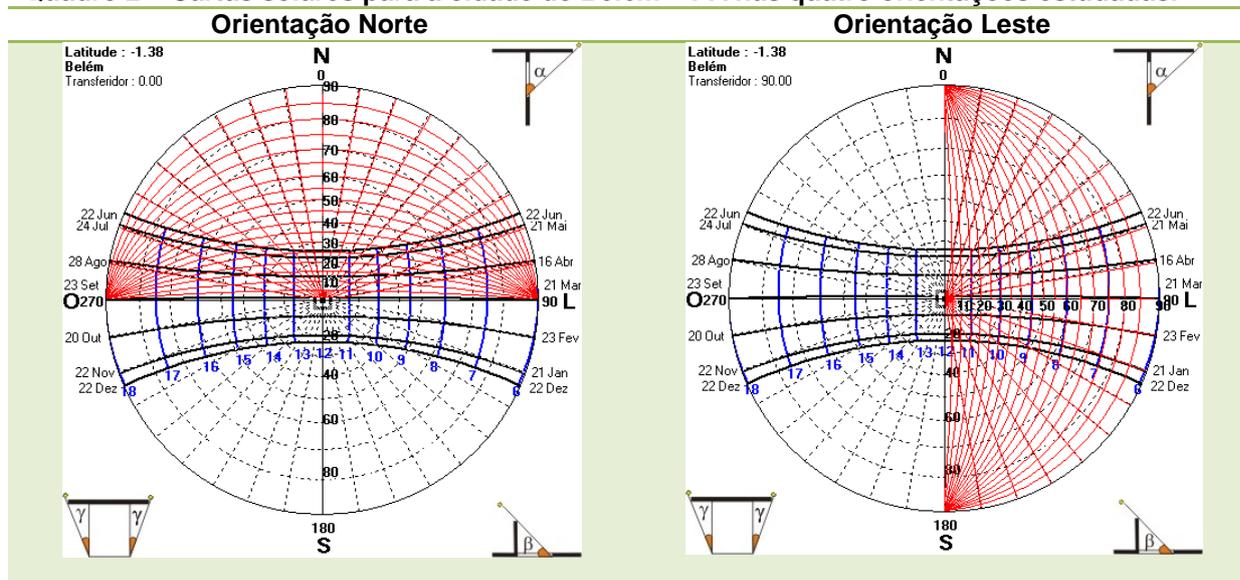
O estudo da insolação das fachadas das cidades analisadas foi feito para os horários de 9h00min e 15h00min, em quatro orientações (Norte, Leste, Sul e Oeste) para cada cidade, no solstício de inverno (22 de junho) e solstício de verão (22 de dezembro), no modelo de referência, com o objetivo de identificar, em cada fachada simulada, horários considerados críticos dentre os analisados com o propósito de introduzir protetores solares quando necessário.

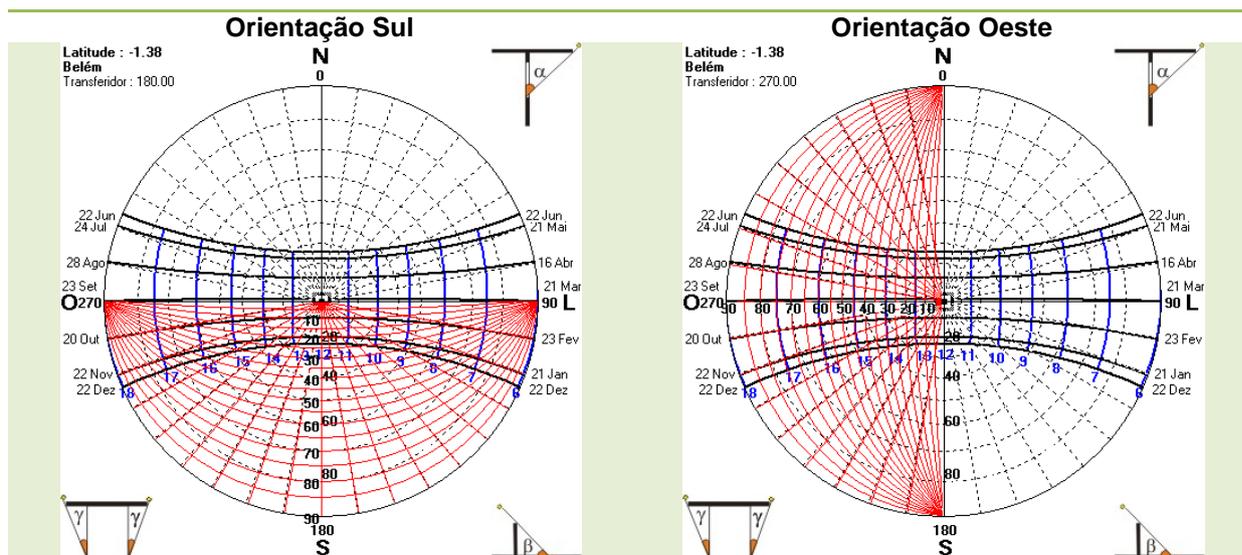
A seguir estão relacionadas as cartas solares das cidades para as quatro orientações estudadas, além de um quadro resumo das situações mais críticas encontradas cada cidade simulada. Todos os estudos das fachadas para as cidades estudadas estão dispostas no Apêndice.

4.2.1. Belém – PA

Foi possível conhecer graficamente os dias e horários que precisam ser sombreados de Belém nas quatro orientações por meio de sua carta solar (Quadro 2) através do programa computacional Analysis Sol-Ar (LABEEE, 2009).

Quadro 2 – Cartas solares para a cidade de Belém – PA nas quatro orientações estudadas.

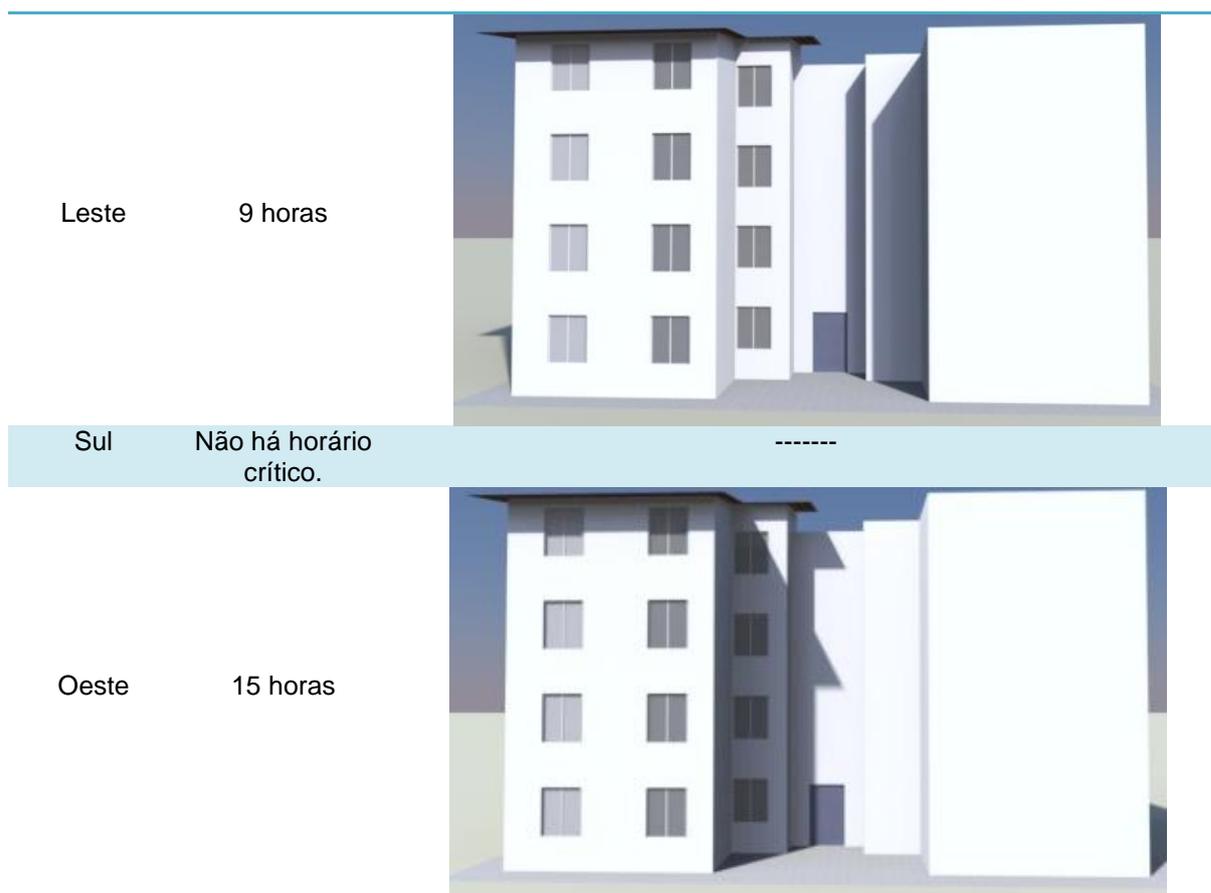




Com base nas cartas solares e nas simulações de insolação das fachadas, foram consideradas as situações críticas estudadas para a cidade de Belém – PA no solstício de inverno, dia 22 de junho, (Quadro 3): Fachada Norte às 15h00min, Fachada Leste às 09h00min, e Fachada Oeste às 15h00min.

Quadro 3 – Horários críticos do estudo da insolação para Belém no solstício de inverno no modelo de referência.

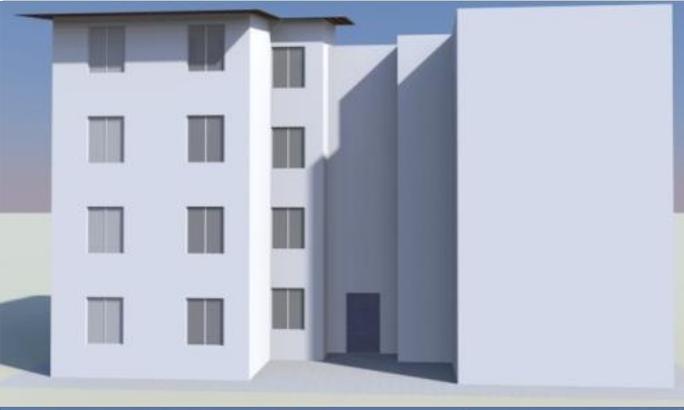
Orientação	Horários	Simulação da insolação
Norte	15 horas	



Fonte: Simulações no programa computacional Sketchup Pro7 (GOOGLE, 2010).

Para o solstício de verão, dia 22 de dezembro (Quadro 4), na Fachada Norte não há incidência da radiação solar direta em nenhum horários analisados. As Fachadas Leste e Sul possuem às 09h00min maior incidência solar no dia analisado; e a Fachada Oeste possui, às 15h00min, maior incidência solar no dia analisado. Percebe-se então a importância de proteção solar nessa fachada, uma vez que a radiação solar direta interfere no desempenho térmico dos ambientes, provocando excesso de ganho de calor.

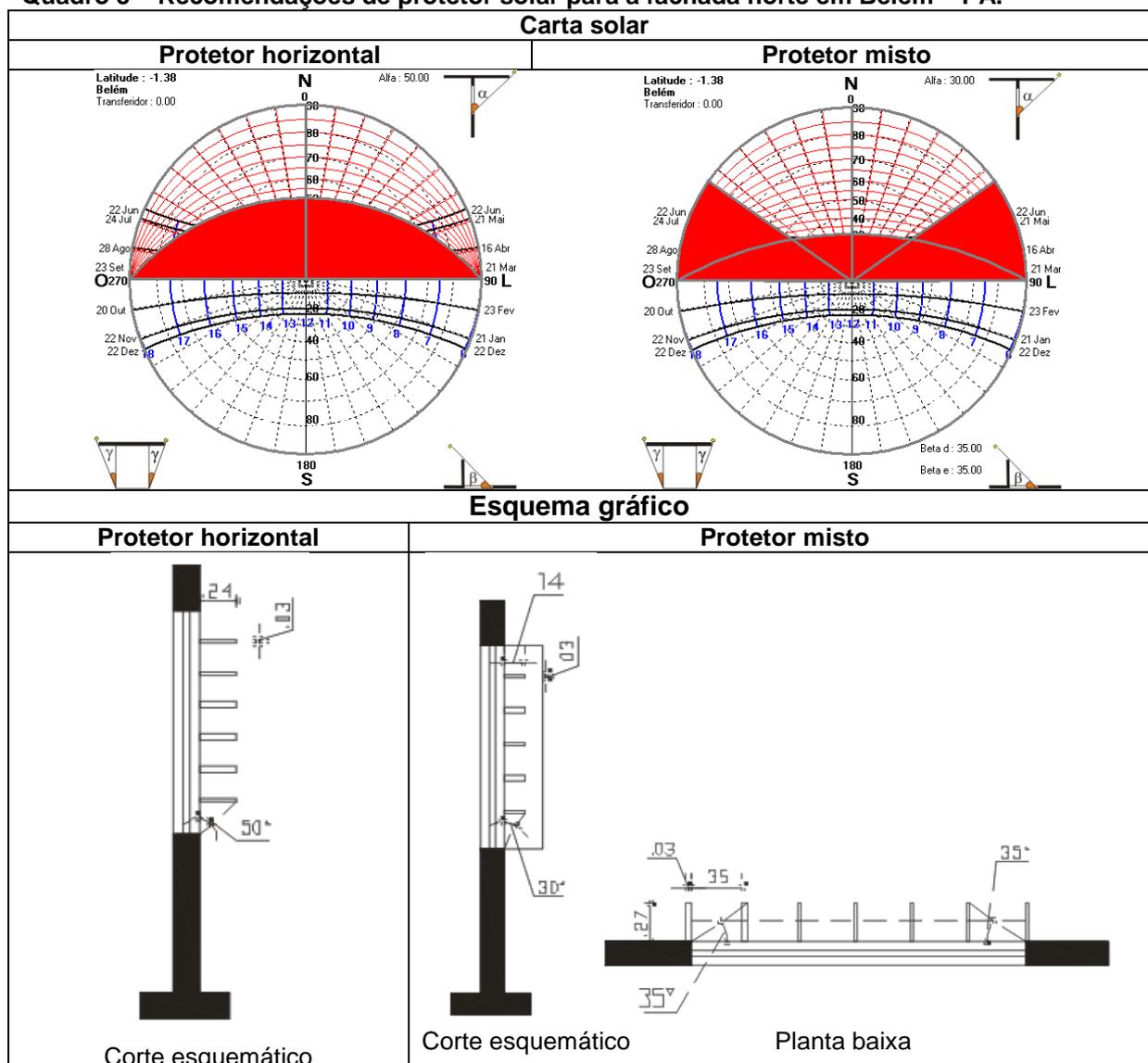
Quadro 4 – Horários críticos do estudo da insolação para Belém no solstício de verão no modelo de referência.

Orientação	Horários	Simulação da insolação
Norte	Não há horário crítico.	-----
Leste	9 horas	
Sul	9 horas	
Oeste	15 horas.	

Fonte: Simulações no programa computacional Sketchup Pro7 (GOOGLE, 2010).

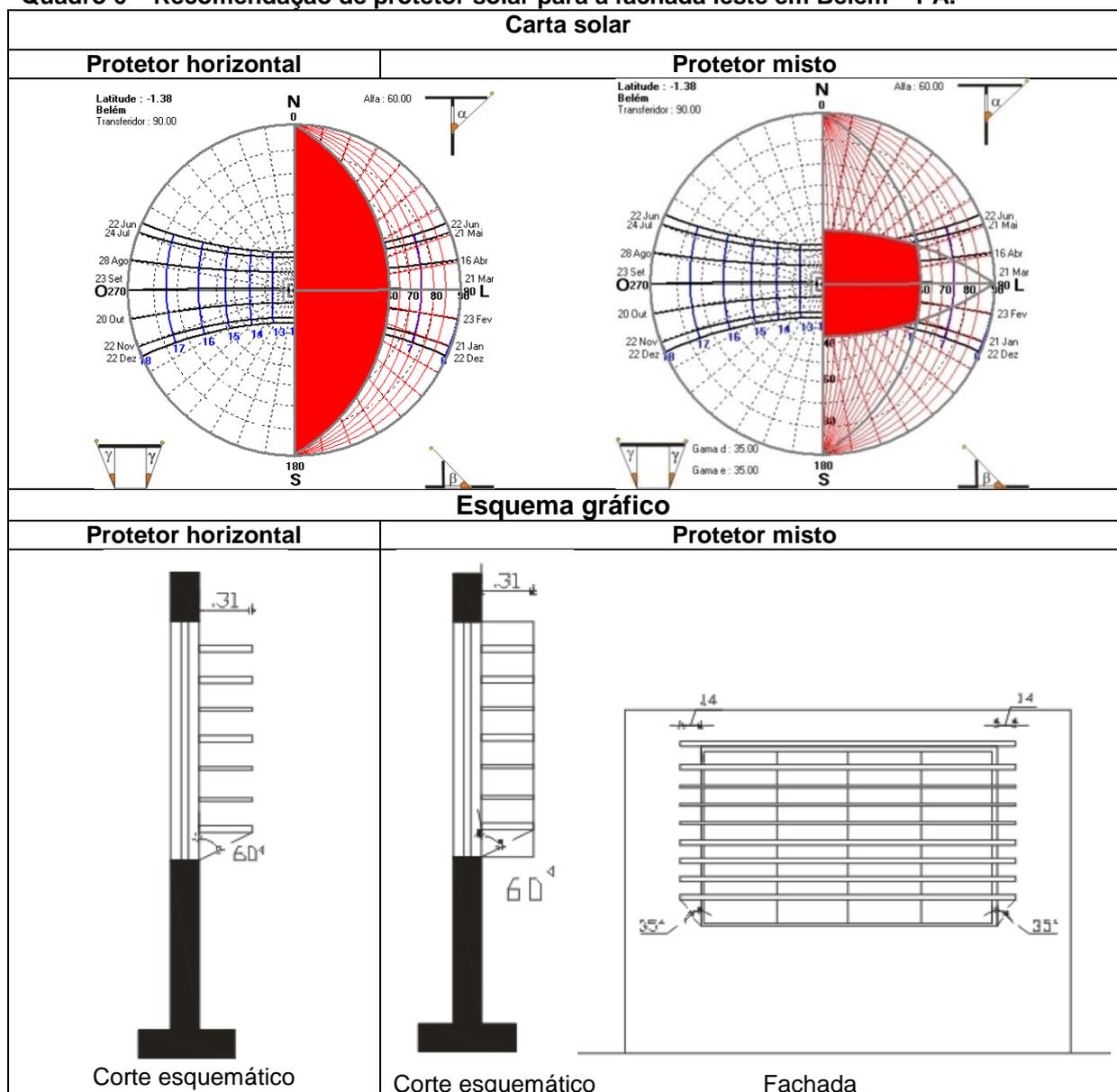
Para a **fachada norte** tanto o protetor solar horizontal ou o protetor solar misto (vertical e horizontal) são apropriados, desta forma, o protetor solar horizontal infinito para essa fachada deve ter o ângulo vertical frontal de 50° , no caso de desejar o sombreamento completo da fachada, pode-se optar por um protetor solar misto, com ângulo vertical frontal de 30° e ângulos horizontais laterais esquerdo e direito de 35° , conforme o quadro a seguir (Quadro 5).

Quadro 5 – Recomendações de protetor solar para a fachada norte em Belém – PA.



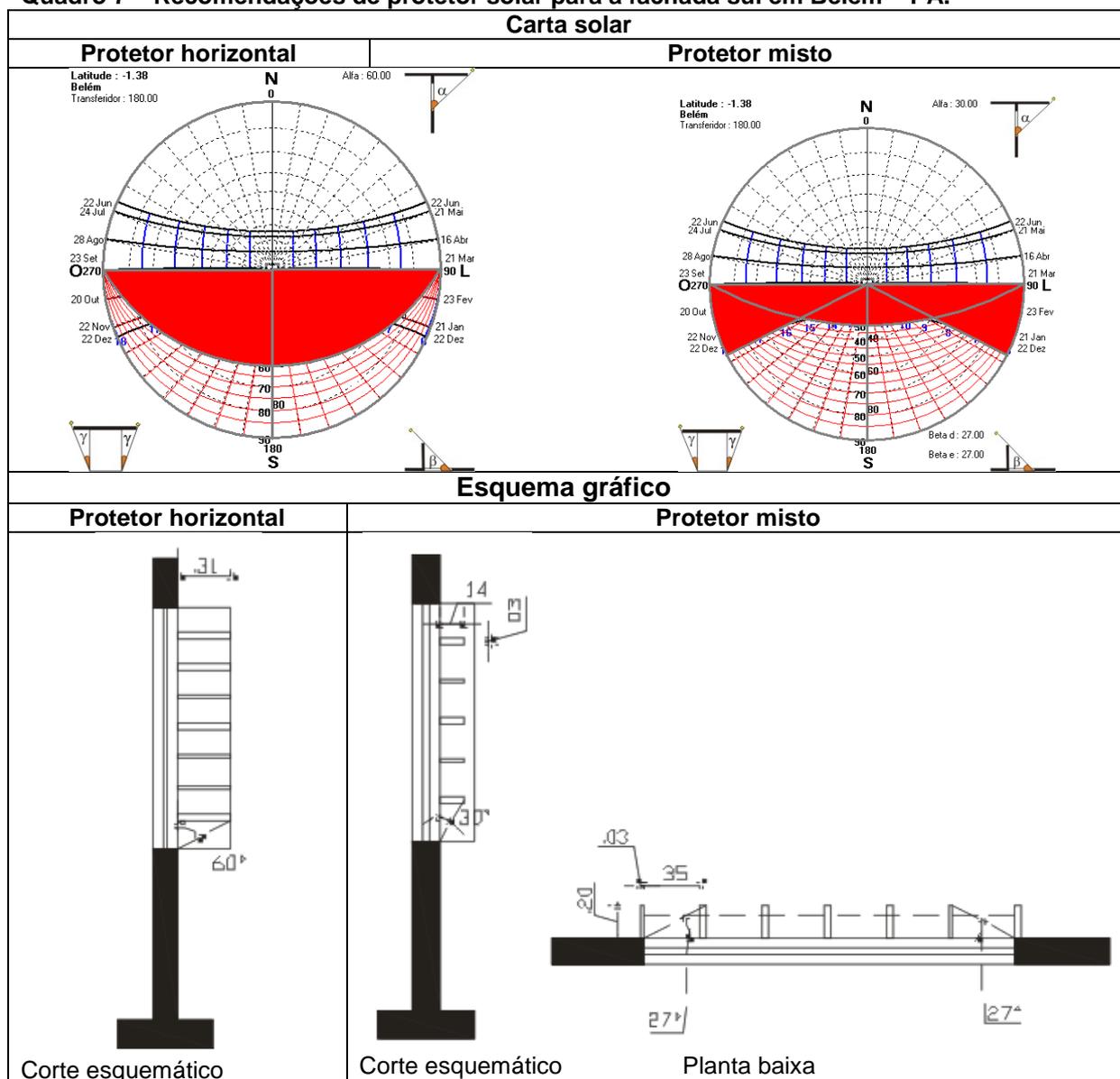
Na **fachada leste** os protetores horizontais são os mais indicados, uma vez que protege da insolação perpendicular à fachada, e, neste caso, o ângulo vertical frontal é de 60° para o protetor infinito, sombreando-a a partir das 08h00min. Para a diminuição do componente horizontal, pode-se utilizar um protetor horizontal finito com ângulo vertical lateral esquerdo e direito de 35° e vertical frontal de 60° (Quadro 6).

Quadro 6 – Recomendação de protetor solar para a fachada leste em Belém – PA.



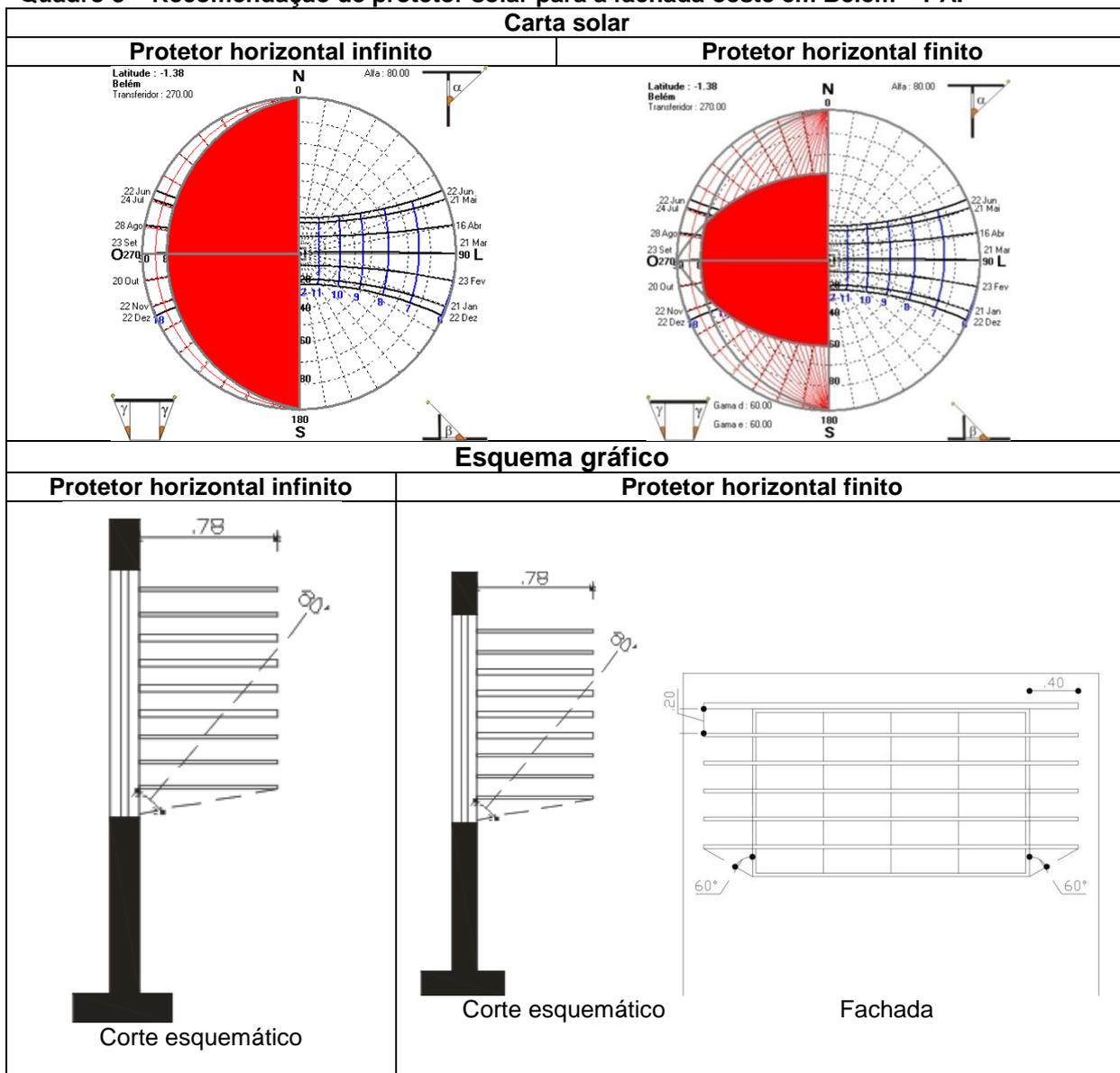
Na **fachada sul** os protetores solares recomendados são o horizontal ou o misto. O protetor horizontal neste caso deve possuir ângulo vertical frontal de 60° , bloqueando os raios solares entre as 07h00min e 17h00min. Caso haja necessidade de diminuição do componente horizontal e completa proteção da fachada, pode-se optar por protetores solares mistos, com o ângulo de proteção vertical frontal passando para 30° e para o ângulo horizontal lateral esquerdo e direito 27° (Quadro 7).

Quadro 7 – Recomendações de protetor solar para a fachada sul em Belém – PA.



Para a **fachada oeste** o protetor indicado é o horizontal, podendo ser o infinito ou o finito. No caso do componente infinito, o ângulo vertical frontal é de 80° , bloqueando os raios solares entre as 12h00min até as 17h30min. Diminuindo o componente horizontal, pode-se optar por um protetor horizontal finito com ângulo vertical frontal de 80° e vertical lateral direito e esquerdo de 60° (Quadro 8).

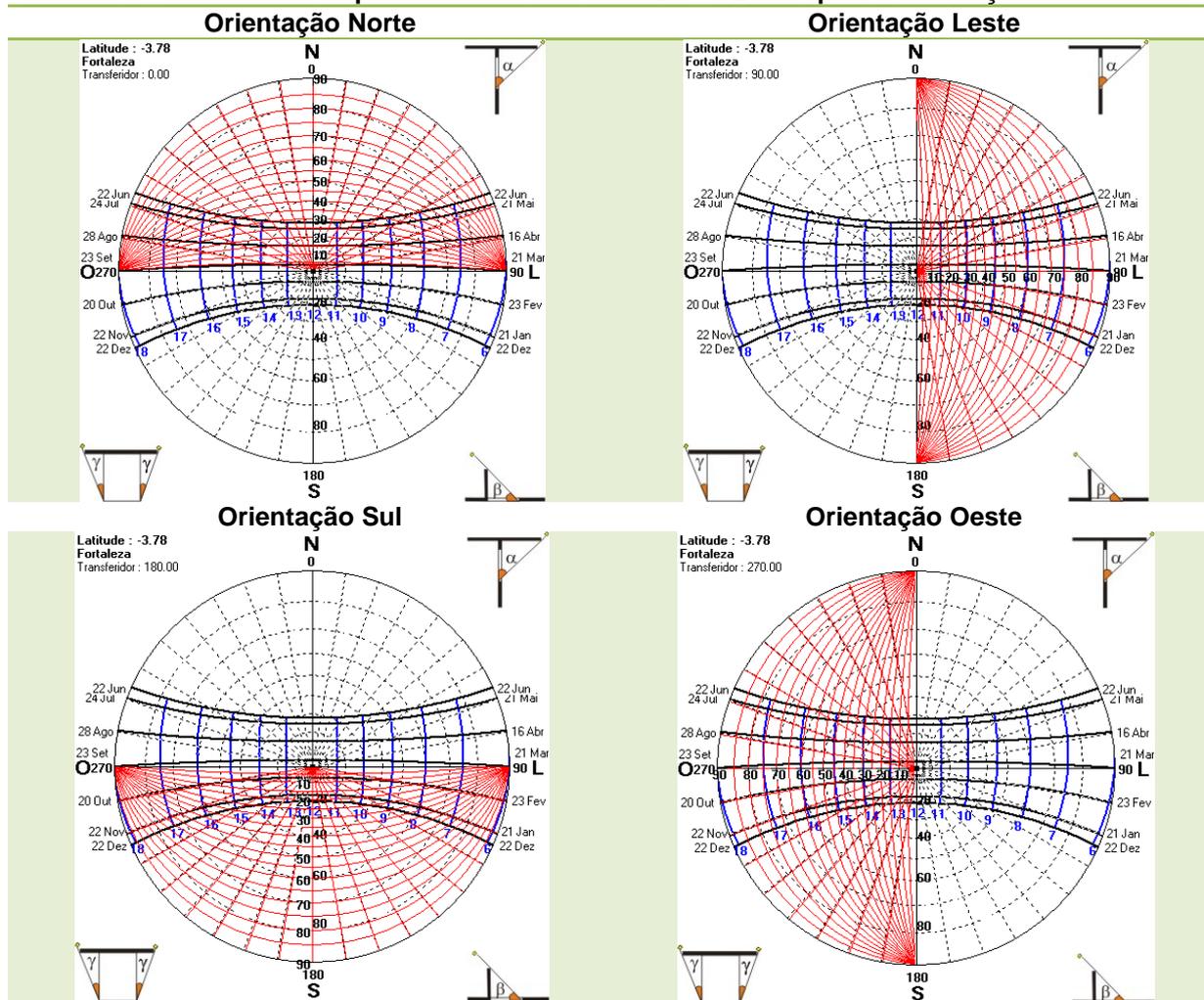
Quadro 8 – Recomendação de protetor solar para a fachada oeste em Belém – PA.



4.2.2. Fortaleza – CE

As cartas solares para a cidade de Fortaleza – CE nas quatro orientações estudadas estão dispostas no Quadro 9 a seguir.

Quadro 9 – Cartas solares para a cidade de Fortaleza – CE nas quatro orientações estudadas.



Com base nas cartas solares e nas simulações de insolação das fachadas, as situações consideradas críticas dentre as estudadas para a cidade de Fortaleza – CE no solstício de inverno, dia 22 de junho, (Quadro 10) foram: Fachada Norte e Leste às 09h00min; e na Fachada Oeste às 15h00min.

Quadro 10 – Horários críticos do estudo da insolação para Fortaleza no período de solstício de inverno no modelo de referência.

Orientação	Horários	Simulação da insolação
Norte	9 horas	
Leste	9 horas	
Sul	Não há horário crítico.	-----
Oeste	15 horas.	

Fonte: Simulações no programa computacional Sketchup Pro7 (GOOGLE, 2010).

Para o solstício de verão, 22 de dezembro, as situações consideradas críticas encontradas dentre as estudadas foram (Quadro 11): Fachada Leste e Sul às 09h00min; e Fachada Oeste às 15h00min.

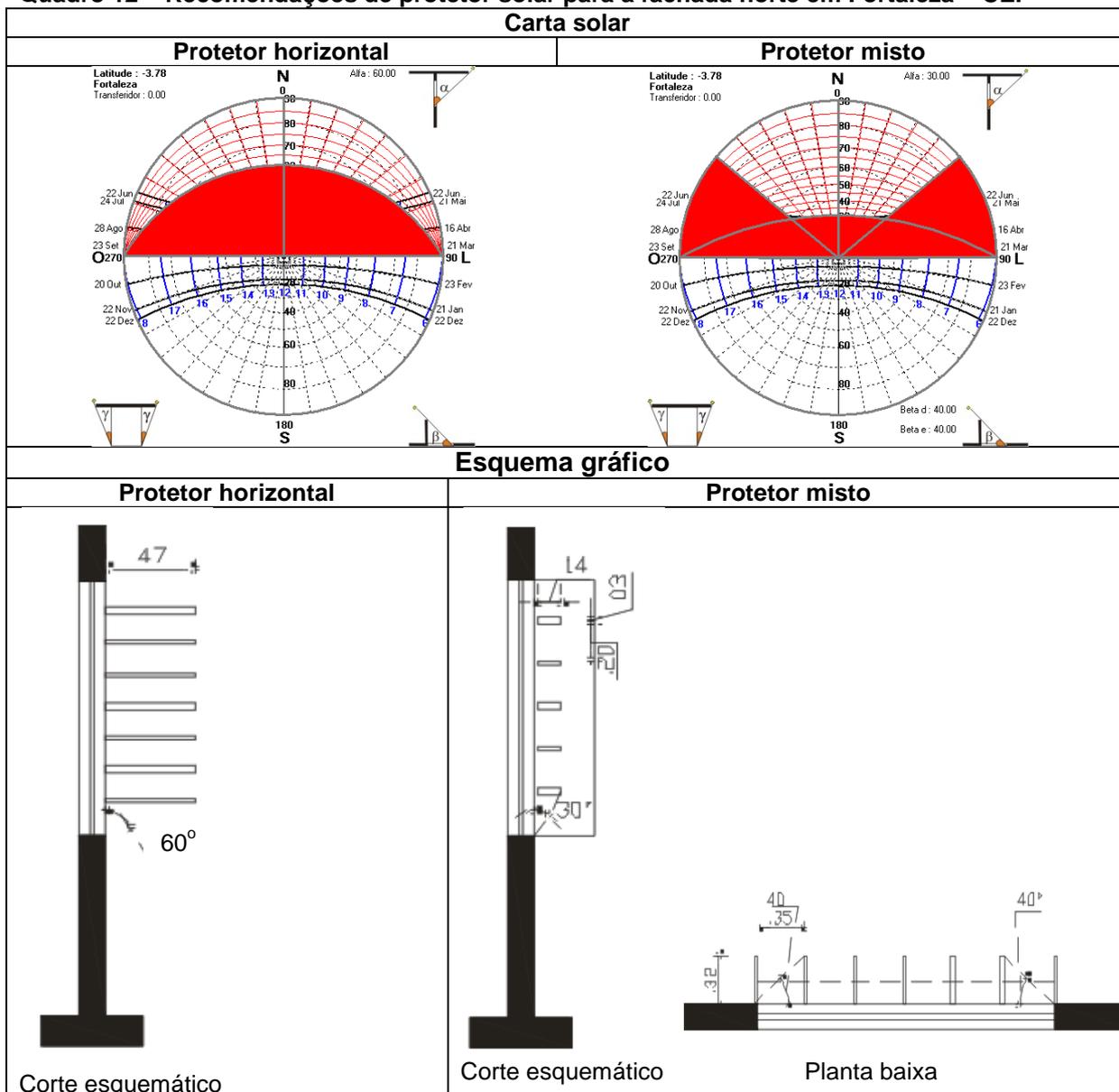
Quadro 11 – Horários críticos do estudo da insolação para Fortaleza no período de solstício de verão no modelo de referência.

Orientação	Horários	Simulação da insolação
Norte	Não há horário crítico.	-----
Leste	9 horas	
Sul	9 horas.	
Oeste	15 horas.	

Fonte: Simulações no programa computacional Sketchup Pro7 (GOOGLE, 2010).

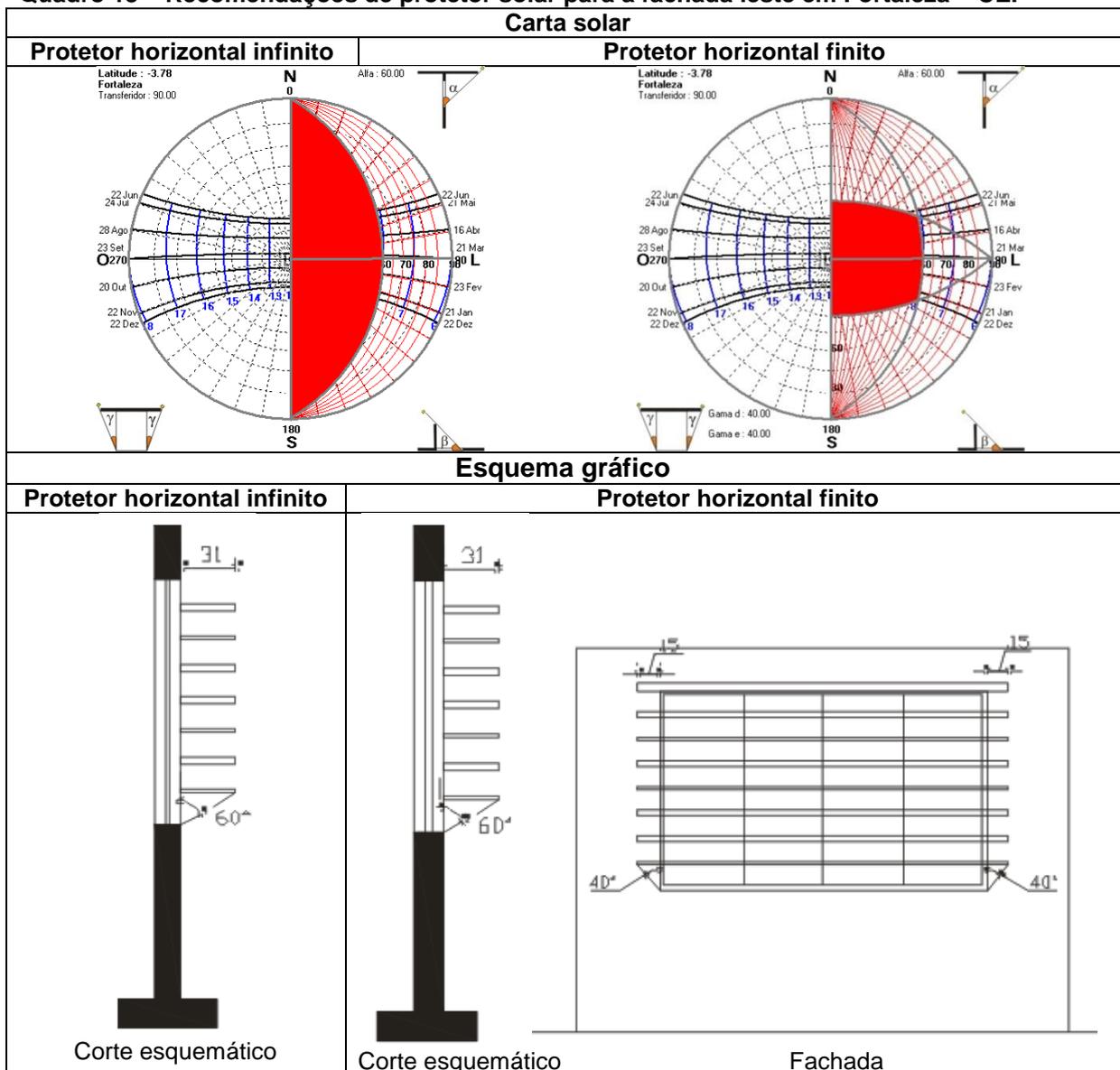
Na **fachada norte** recomenda-se tanto o uso de protetor solar horizontal ou misto (vertical e horizontal). Desta forma, um protetor solar horizontal com ângulo vertical frontal de 60° garante à fachada sombreamento satisfatório, porém, caso se pretenda aumentar o sombreamento da fachada, o ângulo vertical frontal para o protetor horizontal passa a ser de 30° , sendo acrescentadas hastes verticais com ângulo horizontal esquerdo e direito de 40° , conforme o quadro a seguir (Quadro 12).

Quadro 12 – Recomendações de protetor solar para a fachada norte em Fortaleza – CE.



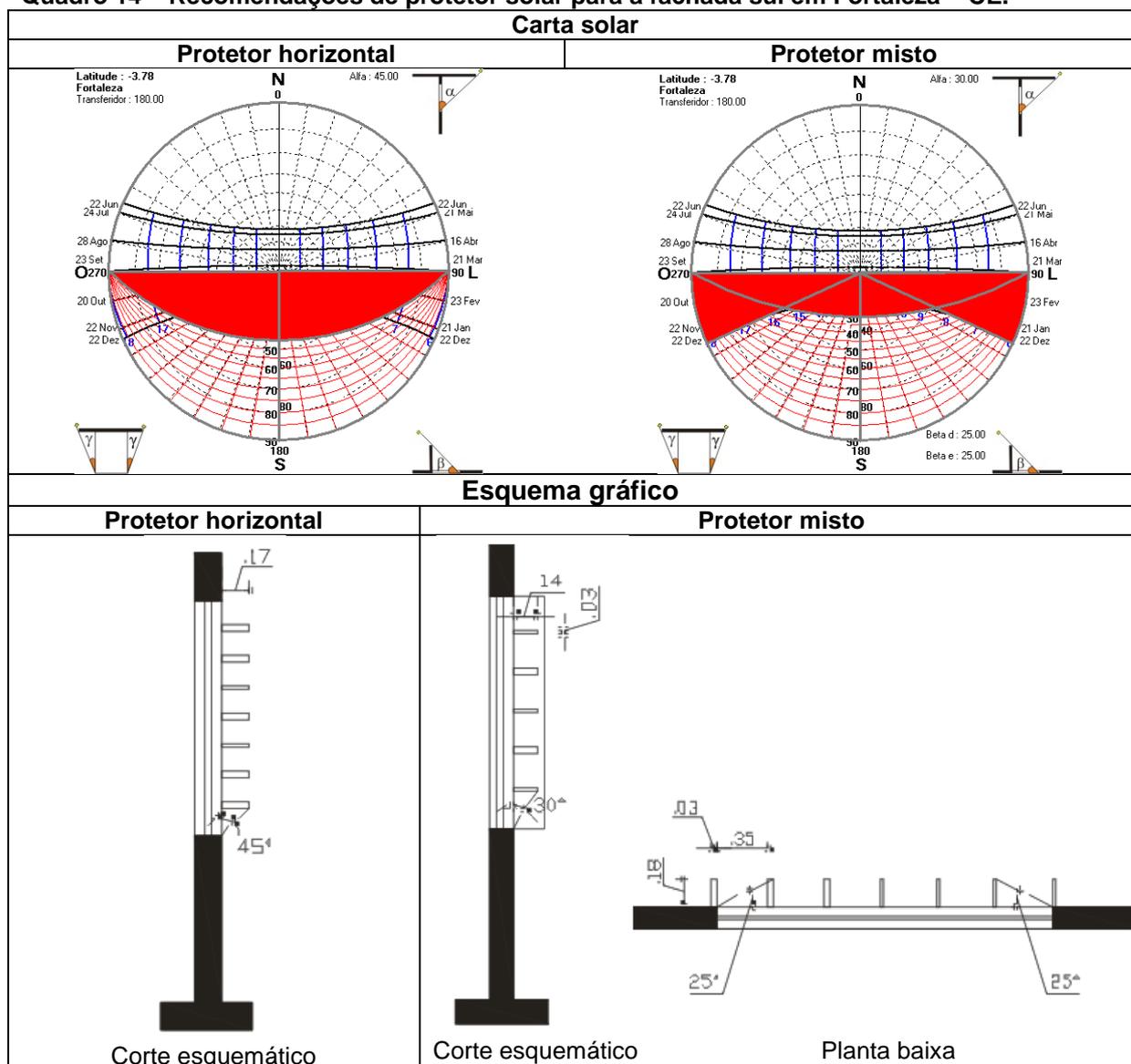
Na **fachada leste** a proteção contra a radiação solar direta em Fortaleza necessita ser entre as 08h00min e meio dia, sendo assim, os protetores horizontais são os mais indicados, e nesse caso o ângulo vertical frontal para protetor horizontal infinito é de 60° e para um componente horizontal finito o ângulo vertical frontal é de 60° e os verticais lateral direito e esquerdo são de 40° , conforme é visto no Quadro 13 a seguir.

Quadro 13 – Recomendações de protetor solar para a fachada leste em Fortaleza – CE.



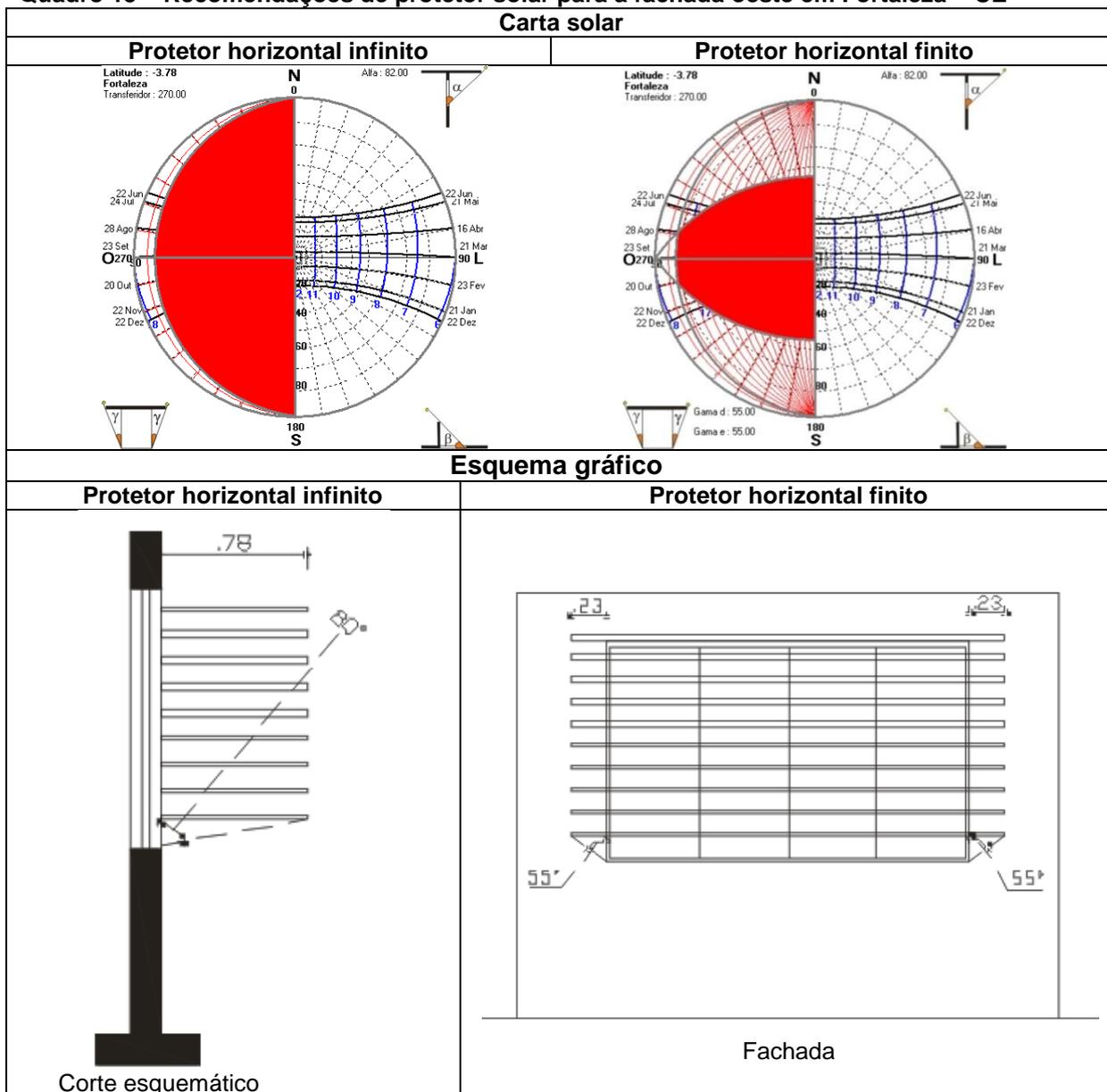
A **fachada sul** aponta a necessidade de sombreamento entre as 07h00min e as 17h00min, sendo, portanto, os protetores solares horizontal ou o misto os mais adequados a essa fachada. Para o protetor horizontal o ângulo vertical frontal é de 45° , caso haja necessidade do sombreamento integral da fachada, pode-se optar por protetores solares mistos, com o ângulo vertical frontal de 30° e para o protetor vertical, ângulos horizontais direito e esquerdo de 25° (Quadro 14).

Quadro 14 – Recomendações de protetor solar para a fachada sul em Fortaleza – CE.



A **fachada oeste** necessita de sombreamento entre as 12h00min e 18h00min. Do mesmo modo que a fachada leste, o protetor indicado é o horizontal, sendo o ângulo vertical frontal de 80° para protetor contínuo e para protetor horizontal finito, ângulo vertical frontal de 80° e verticais laterais direito e esquerdo de 55° , conforme o quadro a seguir (Quadro 15).

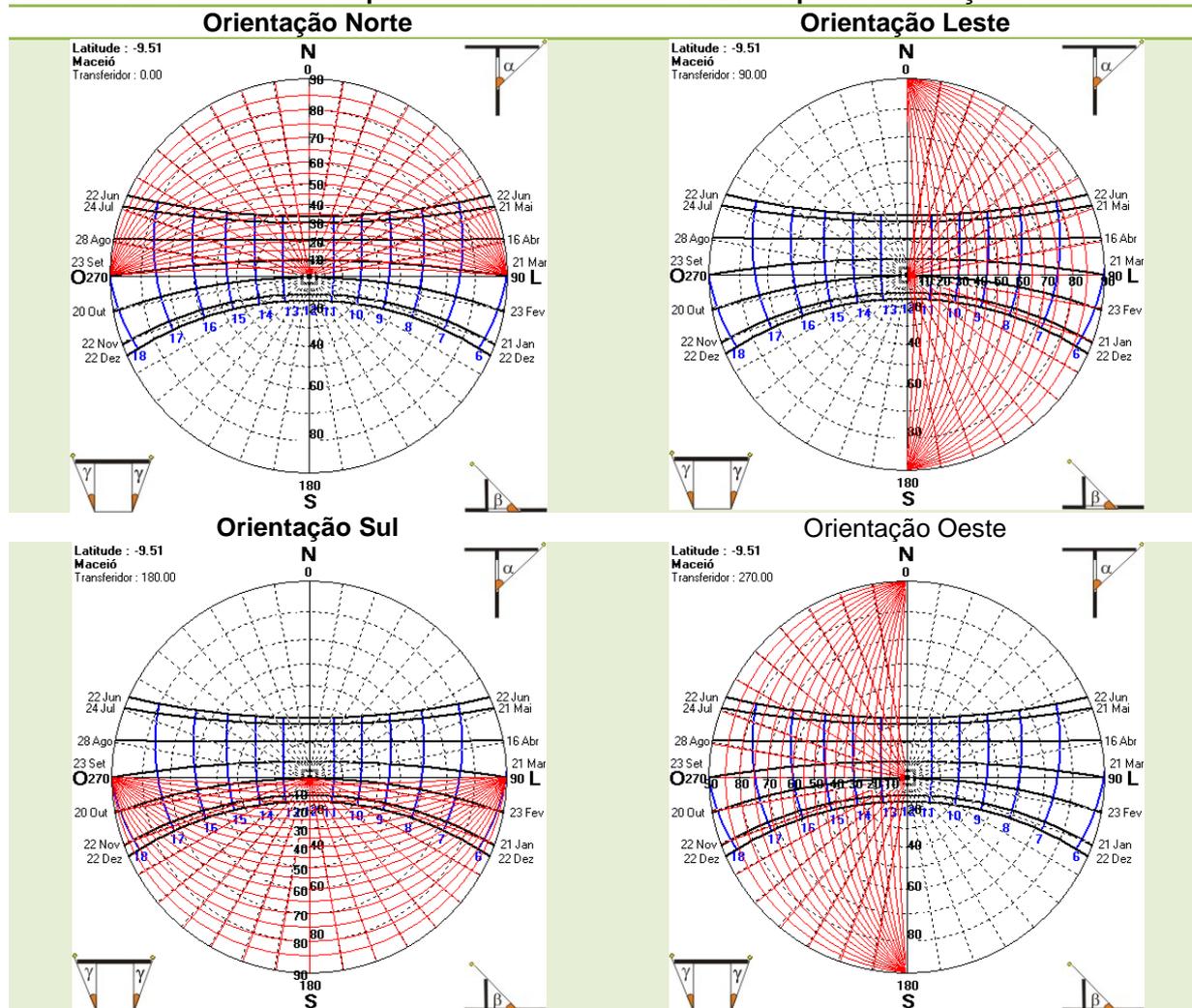
Quadro 15 – Recomendações de protetor solar para a fachada oeste em Fortaleza – CE



4.2.3. Maceió – AL

As cartas solares para a cidade de Maceió nas quatro orientações estudadas estão dispostas conforme o Quadro 16 a seguir.

Quadro 16 – Cartas solares para a cidade de Maceió – AL nas quatro orientações estudadas.



No solstício de inverno as situações consideradas críticas, em relação à radiação solar incidente, dentre as estudadas foram: Fachadas Norte e Leste às 09h00min e Oeste às 15h00min, conforme o quadro a seguir (Quadro 17).

Quadro 17 – Horários críticos do estudo da insolação para Maceió no período de solstício de inverno no modelo de referência.

Orientação	Horários	Simulação da insolação
Norte	9 horas	
Leste	9 horas	
Sul	Não há horário crítico.	-----
Oeste	15 horas.	

Fonte: Simulações no programa computacional Sketchup Pro7 (GOOGLE, 2010).

O solstício de verão em Maceió possui as fachadas Leste às 09h00min, Sul e Oeste às 15h00min como sendo de situações consideradas críticas dentre as estudadas quanto à radiação solar direta, evidenciando ser indispensável o uso de proteção solar, conforme o quadro a seguir (Quadro 18).

Quadro 18 – Horários críticos do estudo da insolação para Maceió no período do solstício de verão no modelo de referência.

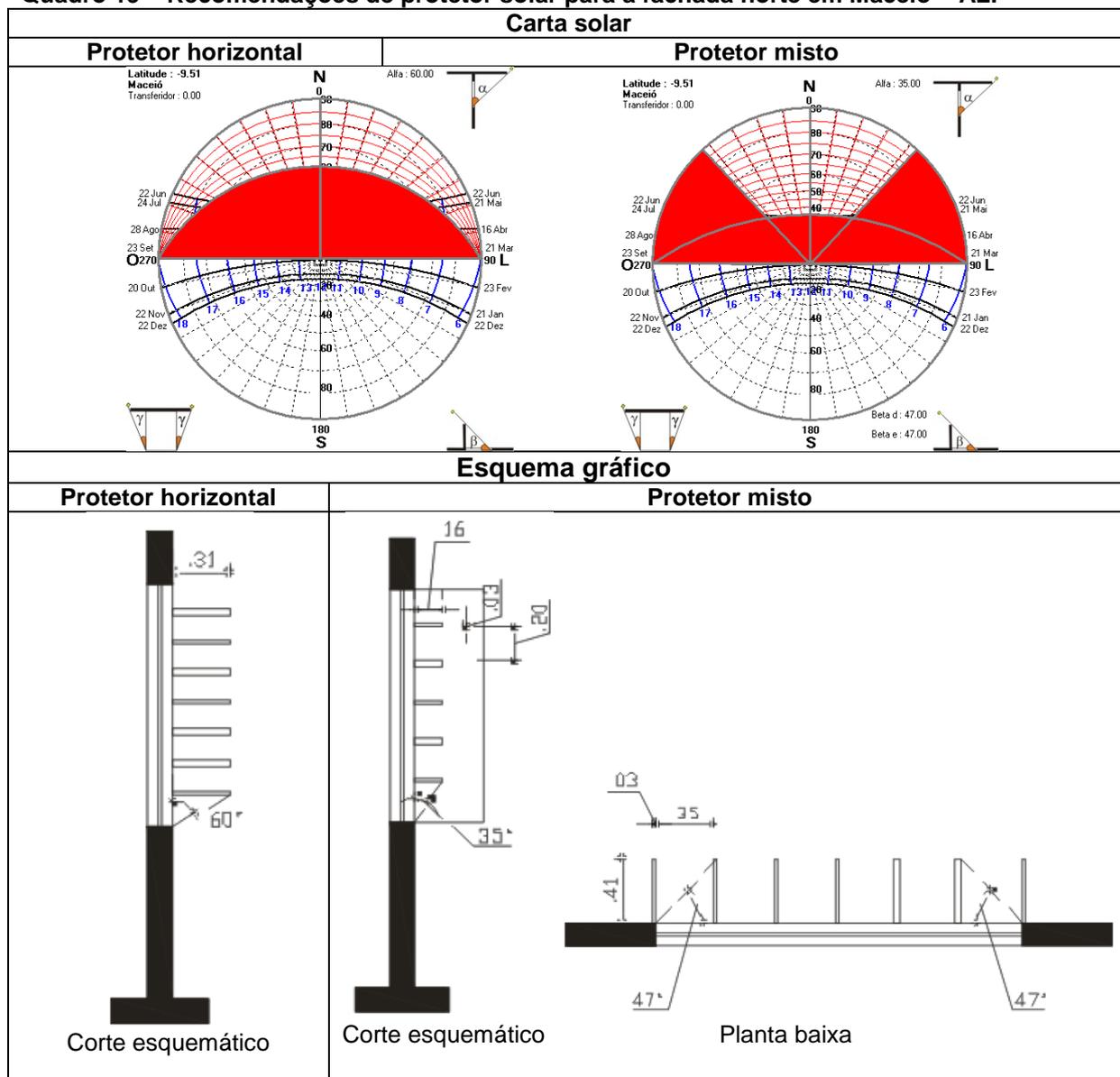
Orientação	Horários	Simulação da insolação
Norte	Não há horário crítico.	-----
Leste	9 horas	
Sul	15 horas.	
Oeste	15 horas.	

Fonte: Simulações no programa computacional Sketchup Pro7 (GOOGLE, 2010).

Para a **fachada norte** é recomendado o uso do protetor horizontal ou misto (vertical e horizontal). O protetor solar horizontal com ângulo de proteção vertical frontal de 60° garante à fachada o sombreamento necessário, porém, caso se deseje proteger a fachada integralmente da radiação solar direta, pode-se optar por um protetor solar misto, onde o ângulo vertical frontal é de 35° e a ele seria

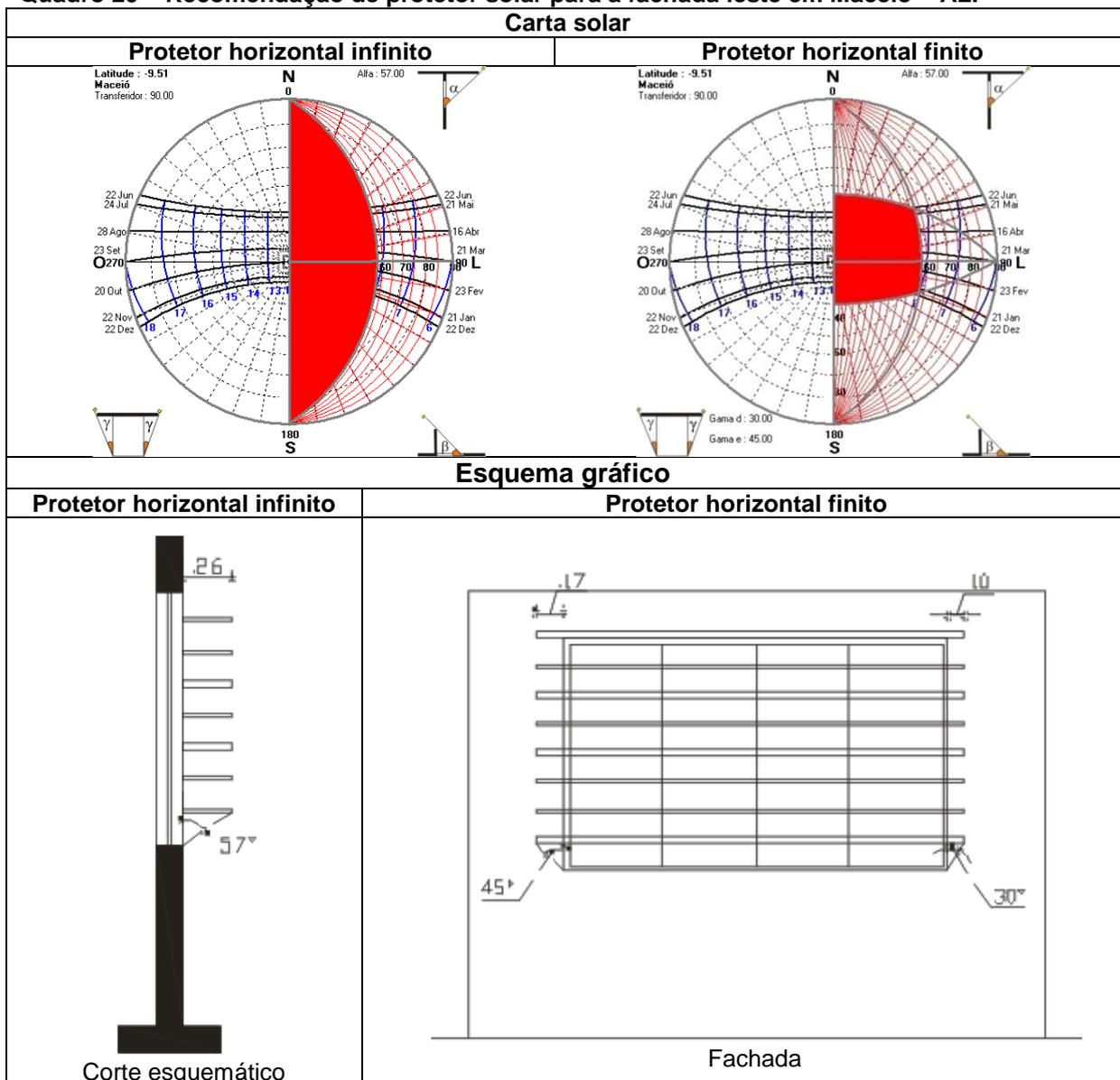
acrescentado um protetor vertical com ângulo horizontal esquerdo e direito de 47° , conforme o quadro a seguir (Quadro 19).

Quadro 19 – Recomendações de protetor solar para a fachada norte em Maceió – AL.



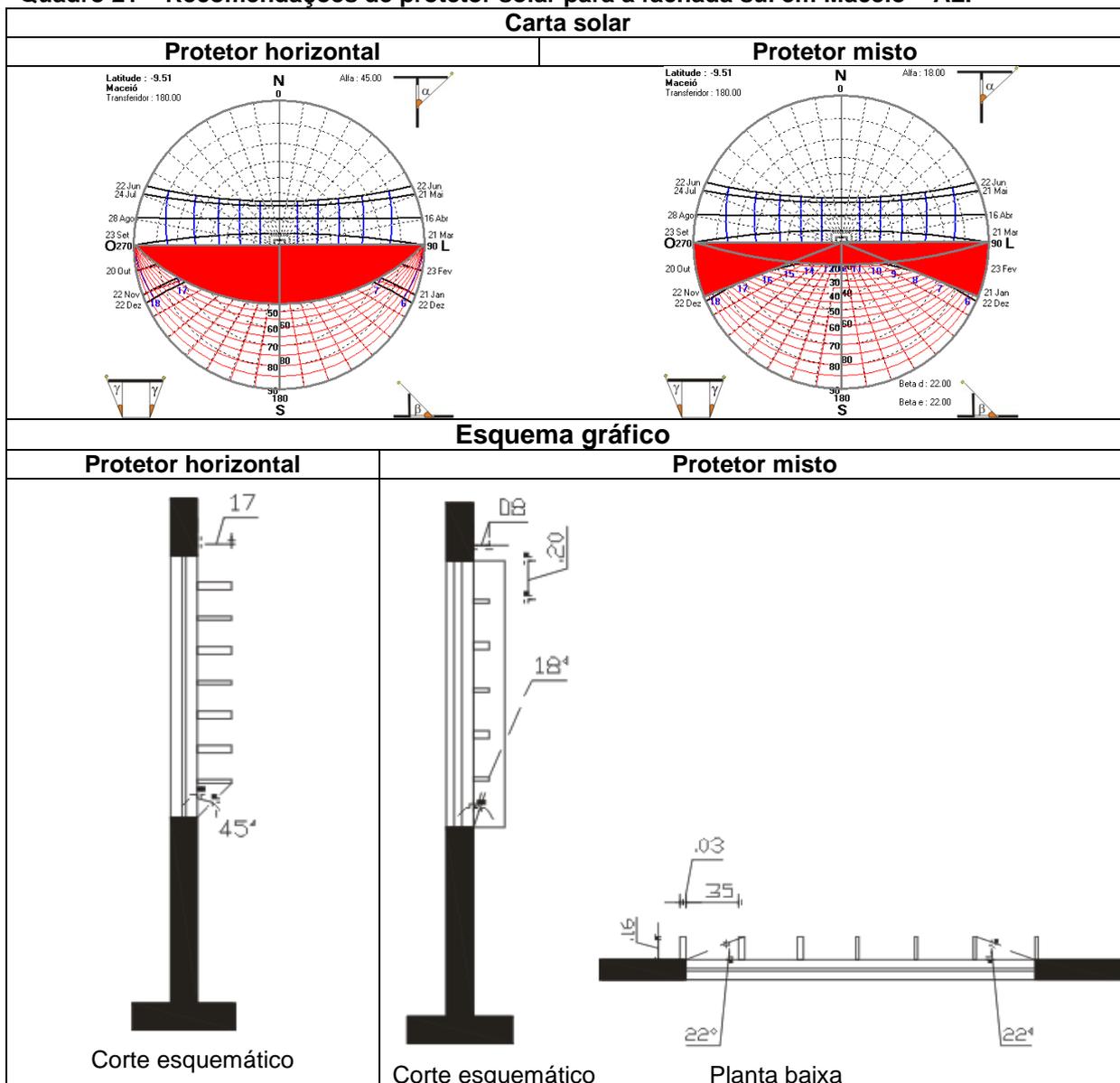
A **fachada leste** necessita de sombreamento entre as 08h00min as 12h00min, dessa forma, os protetores horizontais são os mais indicados, uma vez que protege da insolação perpendicular à fachada. Neste caso, o ângulo vertical frontal para o protetor contínuo é de 57° e para o protetor finito, o ângulo vertical frontal é de 57° , o vertical lateral direito é de 30° e o esquerdo de 45° , conforme o Quadro 20 a seguir.

Quadro 20 – Recomendação de protetor solar para a fachada leste em Maceió – AL.



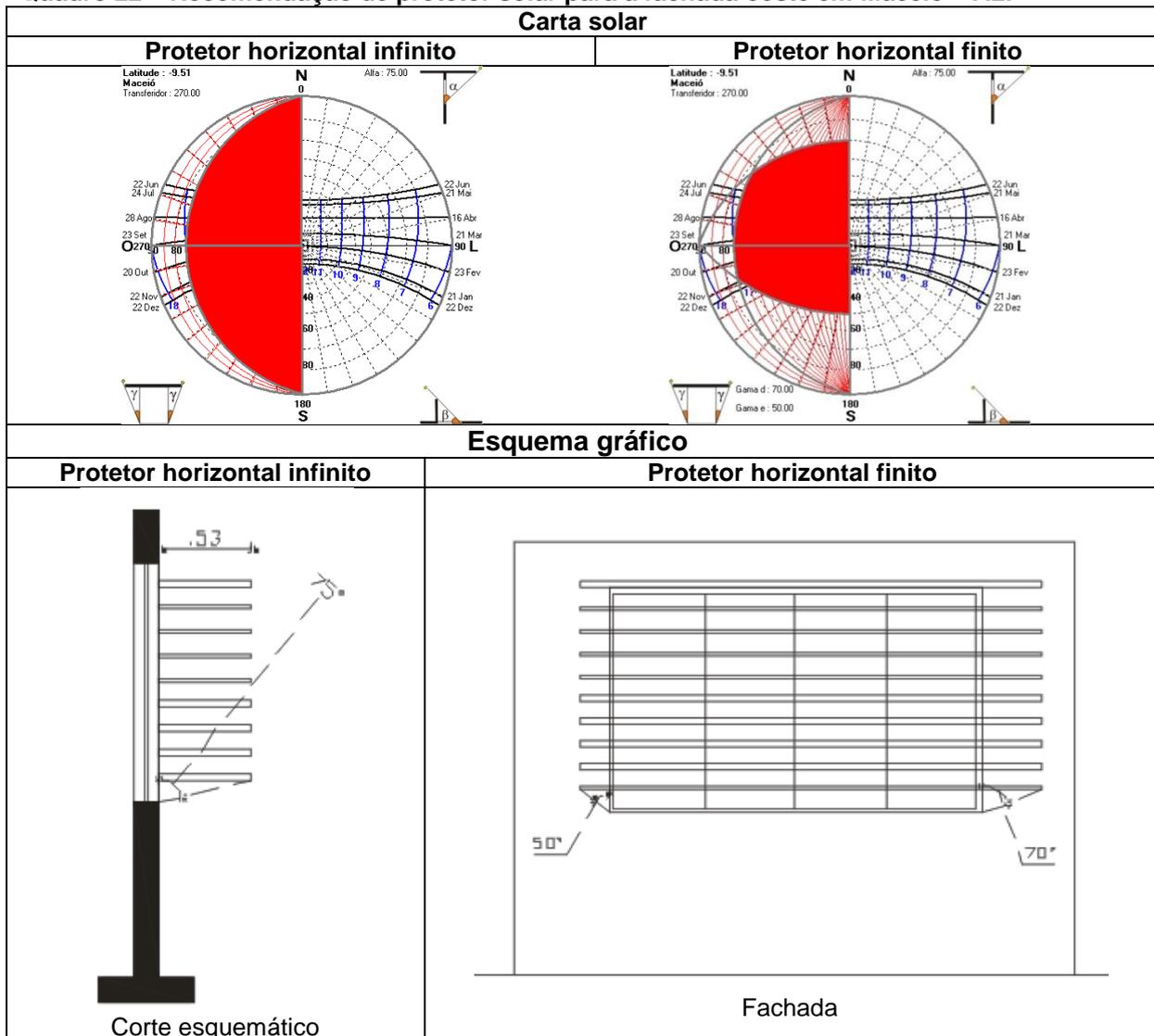
A **fachada sul** indica a necessidade de sombreamento entre as 06h00min e 18h00min. Os protetores solares recomendados para essa fachada são o horizontal e o misto. Para o protetor solar horizontal, o ângulo vertical frontal é de 45° , e para o protetor solar misto, sombreado totalmente a fachada, o ângulo vertical frontal é de 18° e o ângulo horizontal esquerdo e direito é de 22° (Quadro 21).

Quadro 21 – Recomendações de protetor solar para a fachada sul em Maceió – AL.



A **fachada oeste** em Maceió – AL necessita de sombreamento a partir do meio dia até o pôr do sol. Assim como na fachada leste, o protetor indicado é o horizontal, podendo ser contínuo ou finito. Sendo o contínuo, o ângulo vertical frontal é de 75° , sendo o finito o ângulo vertical frontal é de 75° e o vertical lateral esquerdo de 50° e direito de 70° , conforme é mostrado no quadro a seguir (Quadro 22).

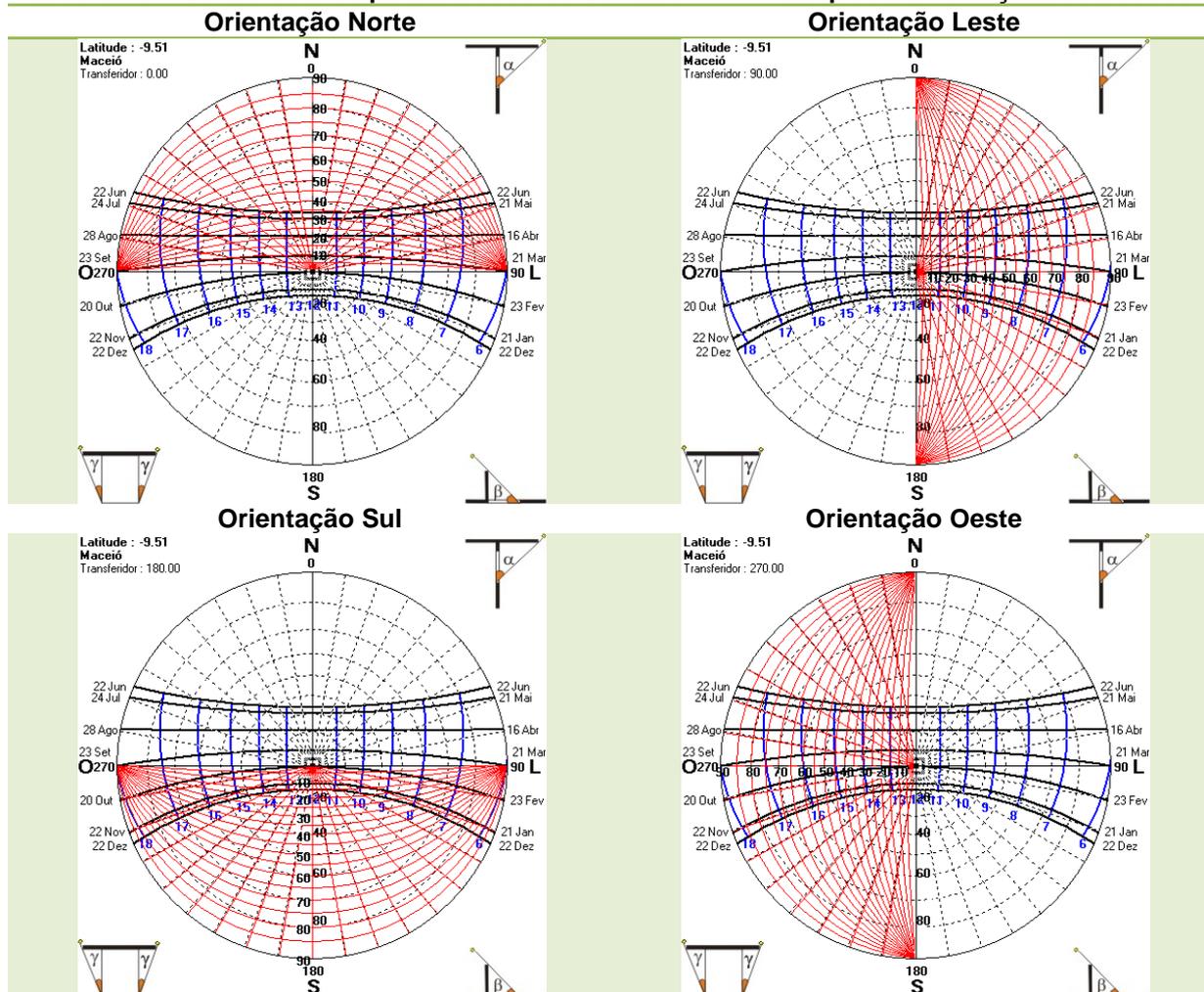
Quadro 22 – Recomendação de protetor solar para a fachada oeste em Maceió – AL.



4.2.4. Salvador – BA

A cidade de Salvador possui sua trajetória solar descrita para as quatro orientações estudadas conforme o Quadro 23 a seguir.

Quadro 23 – Cartas solares para a cidade de Salvador – BA nas quatro orientações estudadas.



No período do solstício de inverno as situações consideradas críticas para a cidade de Salvador, dentre as analisadas, foram: Fachadas Norte e Leste às 09h00min e Oeste às 15h00min (Quadro 24), iguais aos horários e fachadas críticas para o mesmo período estudado na cidade de Maceió – AL.

Quadro 24 – Horários críticos do estudo da insolação para Salvador no período do solstício de inverno no modelo de referência.

Orientação	Horários	Simulação da insolação
Norte	9 horas	
Leste	9 horas	
Sul	Não há horário crítico.	-----
Oeste	15 horas.	

Fonte: Simulações no programa computacional Sketchup Pro7 (GOOGLE, 2010).

O solstício de verão em Salvador possui as fachadas Leste às 09h00min, Sul e Oeste às 15h00min como situações consideradas críticas encontradas nas simulações, conforme mostra o Quadro 25 a seguir.

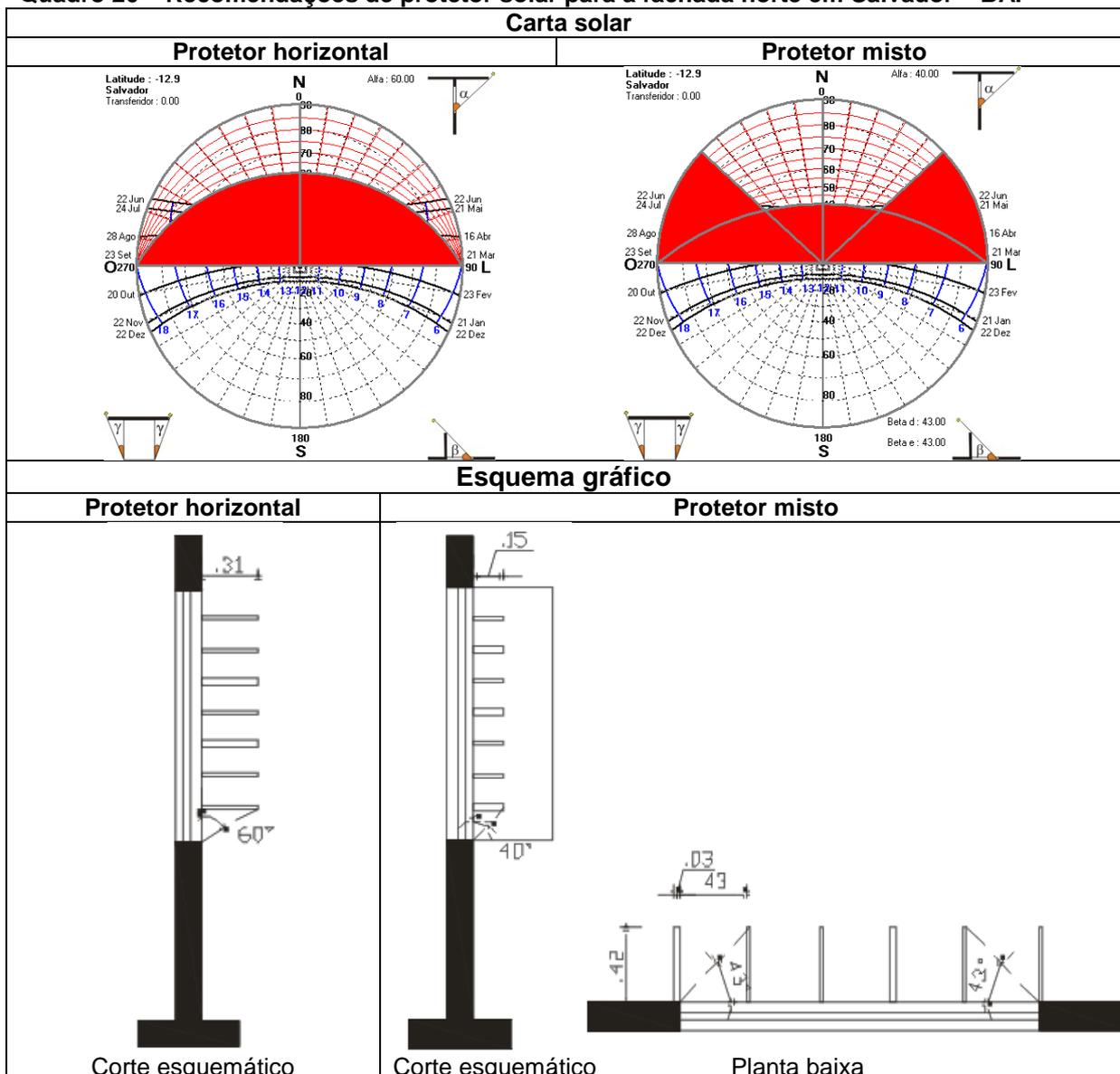
Quadro 25 – Horários críticos do estudo da insolação para Salvador no período do solstício de verão no modelo de referência.

Orientação	Horários	Simulação da insolação
Norte	Não há horário crítico.	-----
Leste	9 horas	
Sul	15 horas.	
Oeste	15 horas.	

Fonte: Simulações no programa computacional Sketchup Pro7 (GOOGLE, 2010).

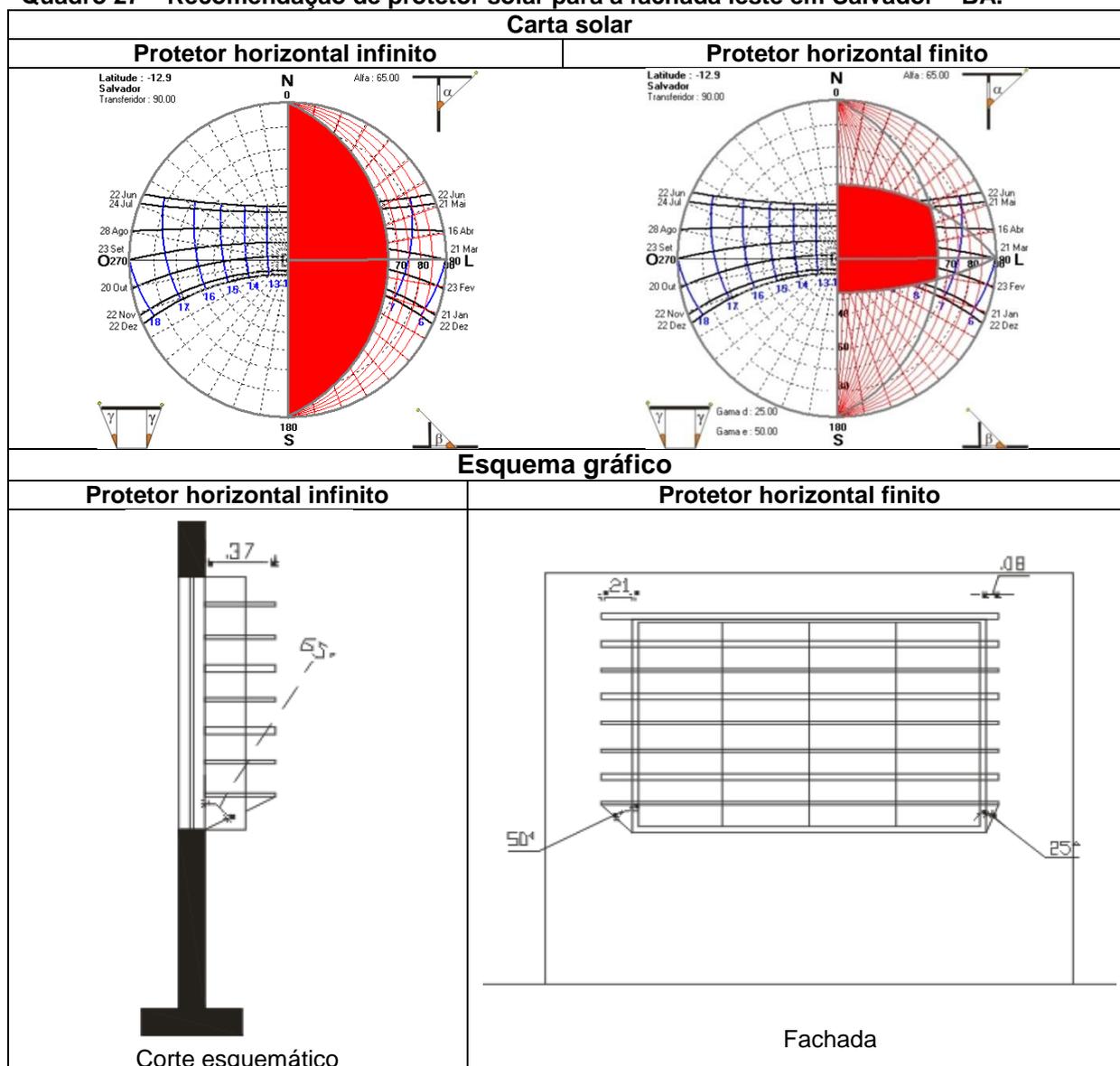
Na **fachada norte** é recomendado os protetores horizontais ou mistos (vertical e horizontal). O protetor solar horizontal com ângulo vertical frontal de 60° garante à fachada o sombreamento necessário, entre as 08h00min às 16h00min. Porém, caso se deseje proteger a fachada integralmente da radiação solar direta, pode-se utilizar o protetor misto, neste caso, o ângulo vertical frontal é de 40° e o ângulo horizontal esquerdo e direito de 43° , conforme o Quadro 26 a seguir.

Quadro 26 – Recomendações de protetor solar para a fachada norte em Salvador – BA.



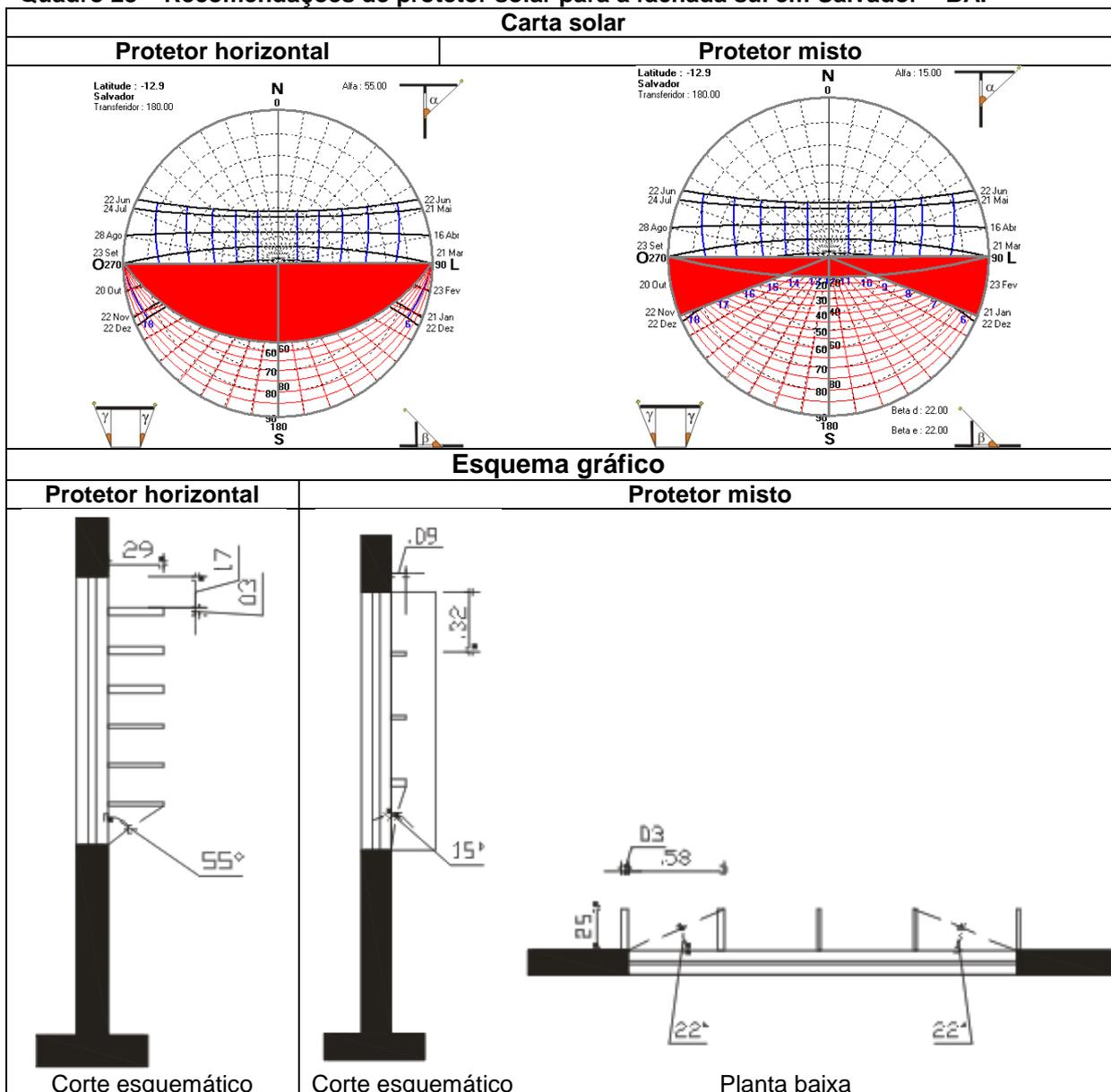
O sombreamento necessário para a **fachada leste** é entre as 08h00min ao meio dia. Por isto, protetores horizontais são os mais indicados, podendo ser contínuos ou finitos. No caso do contínuo, o ângulo vertical frontal é de 65° , e no finito, o ângulo vertical frontal é de 65° e o ângulo vertical lateral esquerdo de 50° e o ângulo vertical direito de 25° , conforme o Quadro 27 a seguir.

Quadro 27 – Recomendação de protetor solar para a fachada leste em Salvador – BA.



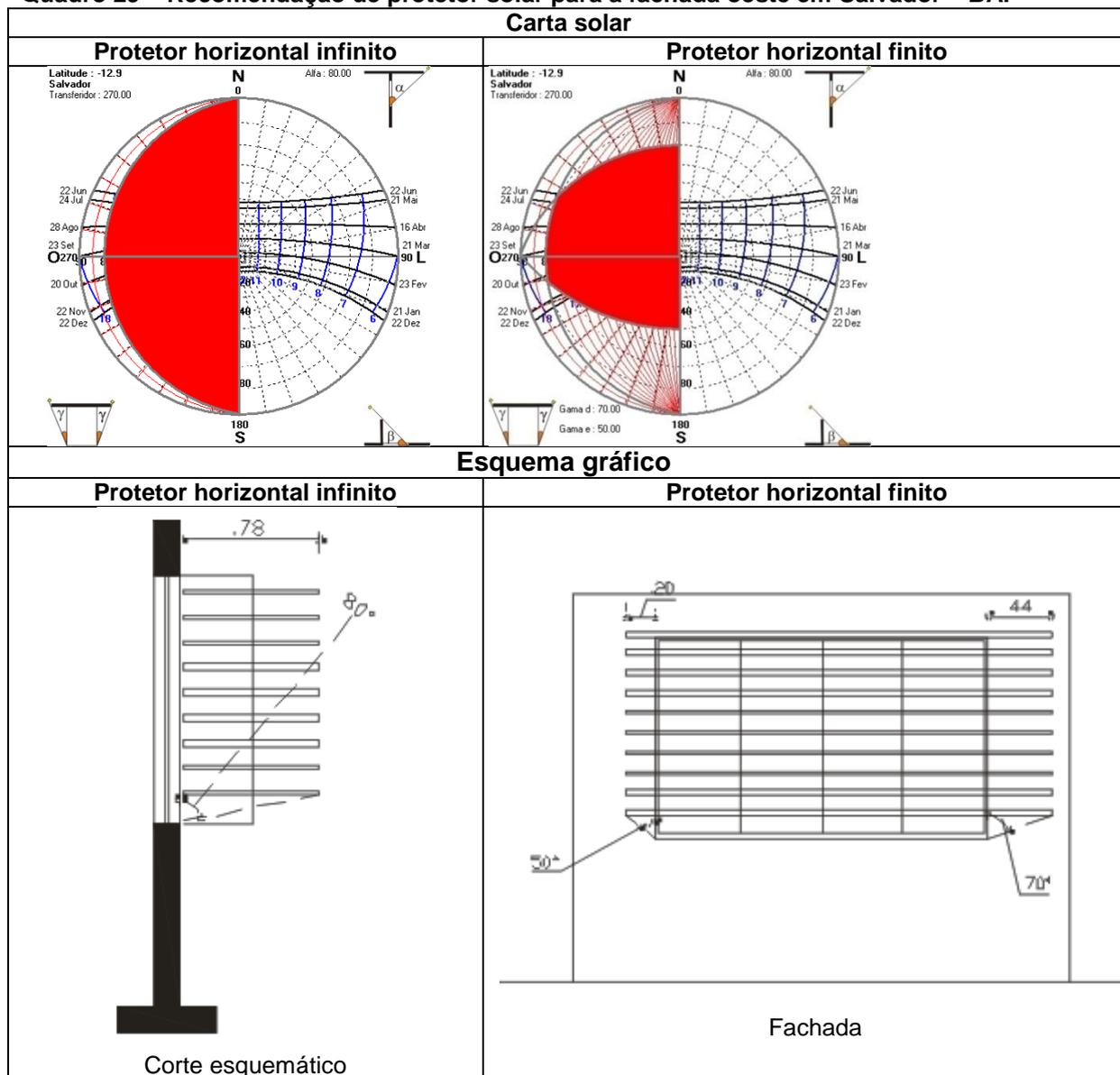
A **fachada sul** em Salvador indica a necessidade de sombreamento entre as 06h00min e as 18h00min. O protetor solar recomendado para essa fachada é o horizontal, com ângulo vertical frontal de 55° , e o protetor misto (vertical e horizontal), com ângulo vertical frontal de 15° e ângulo horizontal esquerdo e direito de 22° , conforme o quadro a seguir (Quadro 28).

Quadro 28 – Recomendações de protetor solar para a fachada sul em Salvador – BA.



Na **fachada oeste** o sombreamento é requerido a partir do meio dia até o pôr do sol. Igualmente como nas fachadas lestes das demais cidades estudadas, o protetor solar indicado é o horizontal, podendo ser contínuo ou finito. Sendo o contínuo, o ângulo vertical frontal é de 80° , sendo o finito, o ângulo vertical frontal é de 80° e o ângulo vertical lateral esquerdo é de 50° e o ângulo vertical lateral direito é de 70° , conforme é mostrado no quadro a seguir (Quadro 29).

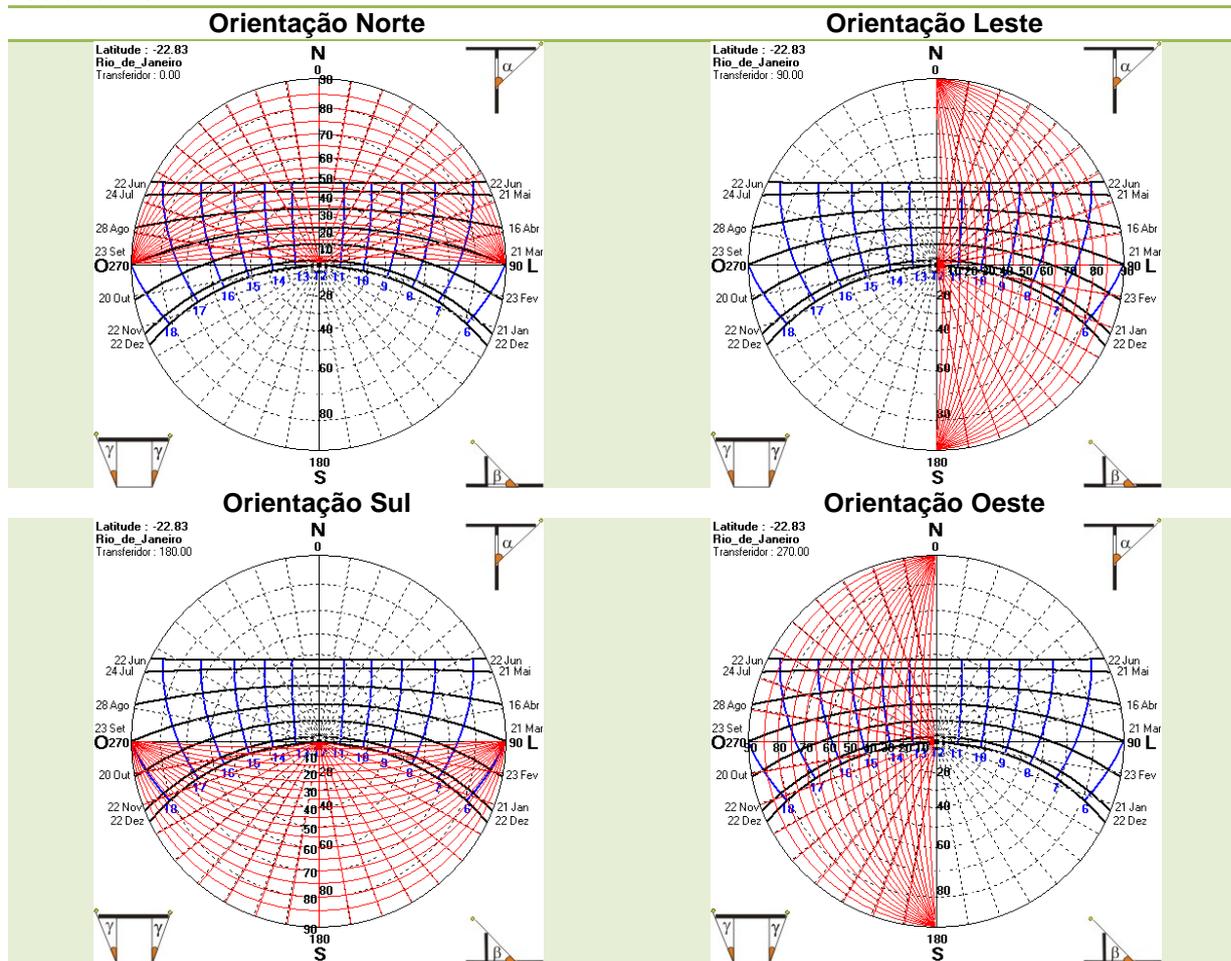
Quadro 29 – Recomendação de protetor solar para a fachada oeste em Salvador – BA.



4.2.5. Rio de Janeiro – RJ

A trajetória solar da cidade do Rio de Janeiro está descrita para as quatro orientações estudadas conforme o Quadro 30 a seguir.

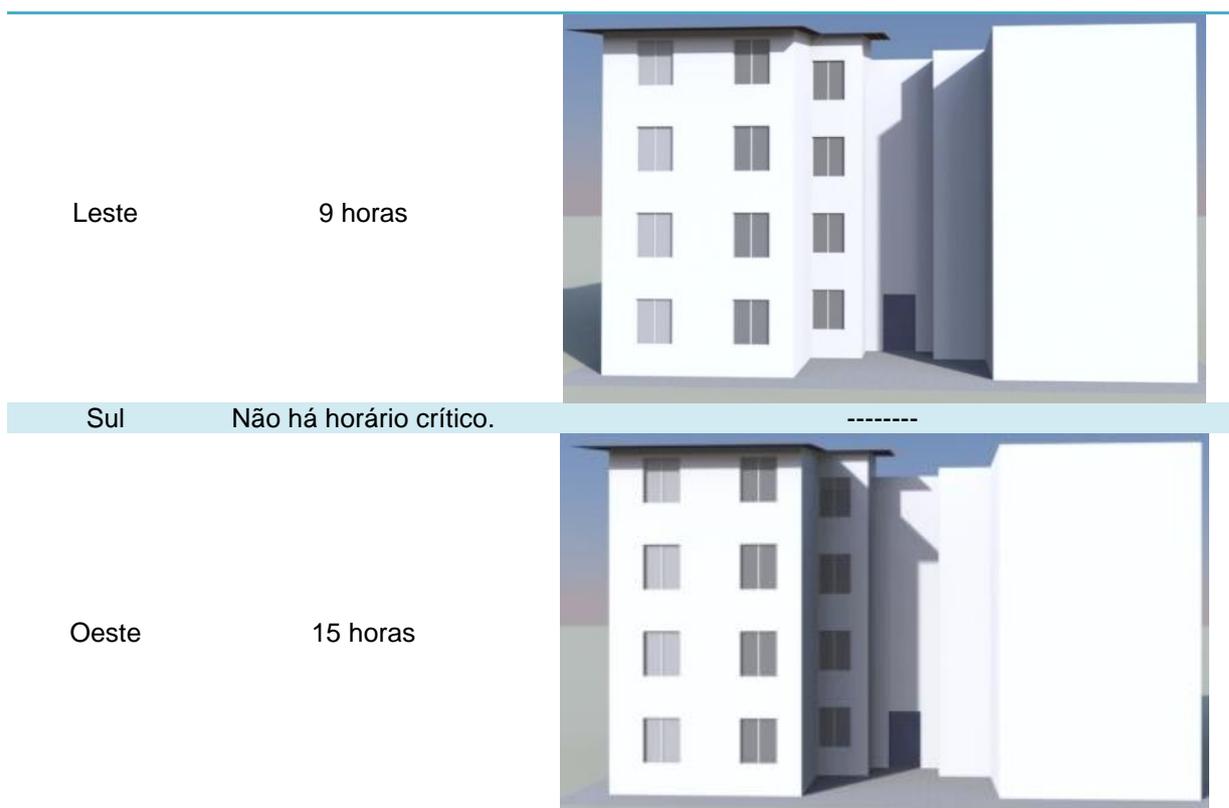
Quadro 30 – Cartas solares para a cidade do Rio de Janeiro – RJ nas quatro orientações estudadas.



Para o solstício de inverno as situações consideradas críticas dentre as simuladas foram: Fachadas Norte e Oeste às 15h00min; Leste às 09h00min; conforme o quadro a seguir (Quadro 31).

Quadro 31 – Horários críticos do estudo da insolação para o Rio de Janeiro no período do solstício de inverno no modelo de referência.

Orientação	Horários	Simulação da insolação
Norte	15 horas	



Fonte: Simulações no programa computacional Sketchup Pro7 (GOOGLE, 2010).

No solstício de verão no Rio de Janeiro as situações consideradas críticas, dentre os casos estudados e em relação à incidência de radiação solar direta nas fachadas foram: Fachadas Leste e Sul às 09h00min e Oeste às 15h00min, conforme o Quadro 32 a seguir.

Quadro 32 – Horários críticos do estudo da insolação para o Rio de Janeiro no período do solstício de verão no modelo de referência.

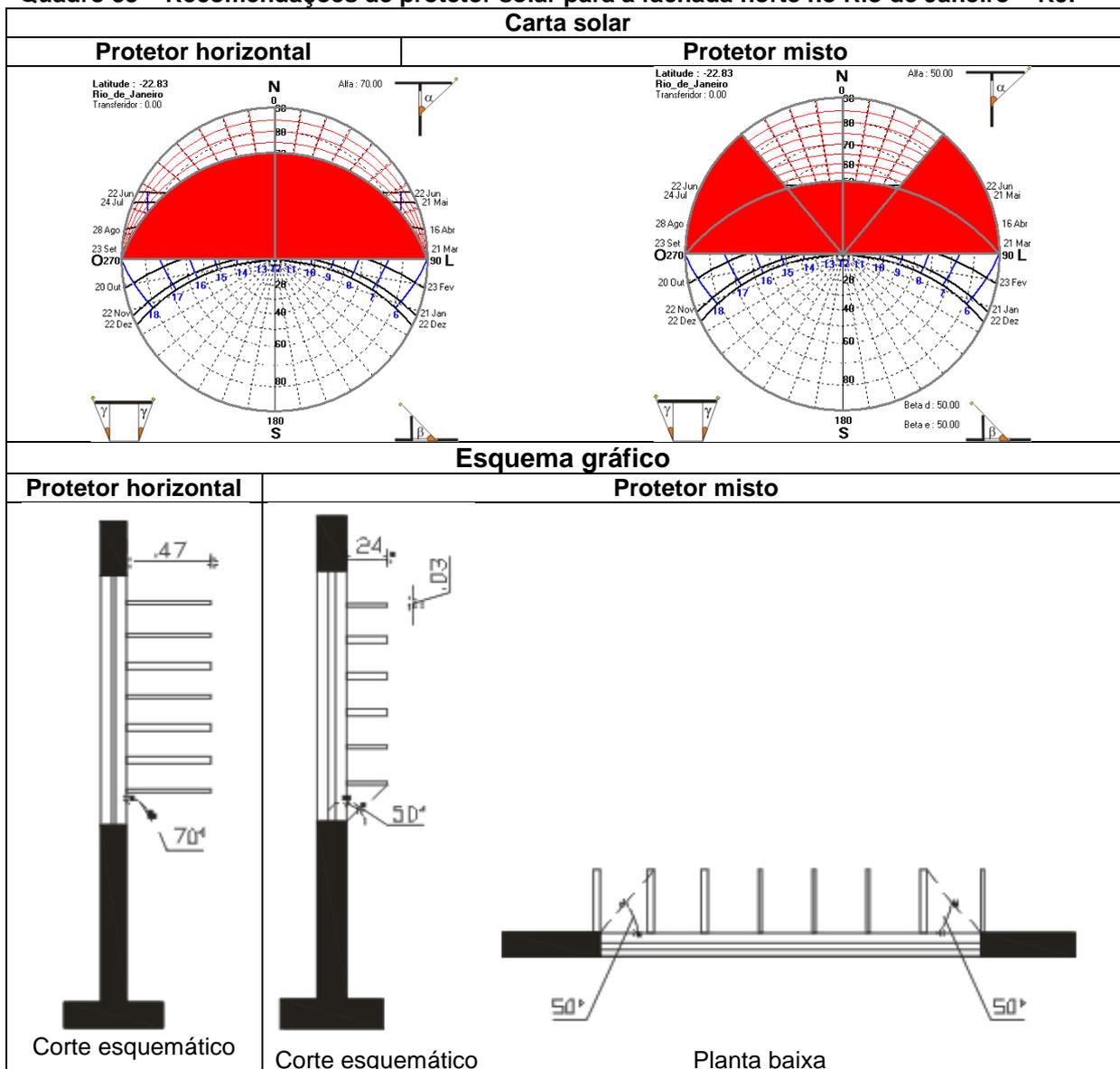
Orientação	Horários	Simulação da insolação
Norte	Não há horário crítico.	-----
Leste	9 horas	



Fonte: Simulações no programa computacional Sketchup Pro7 (GOOGLE, 2010).

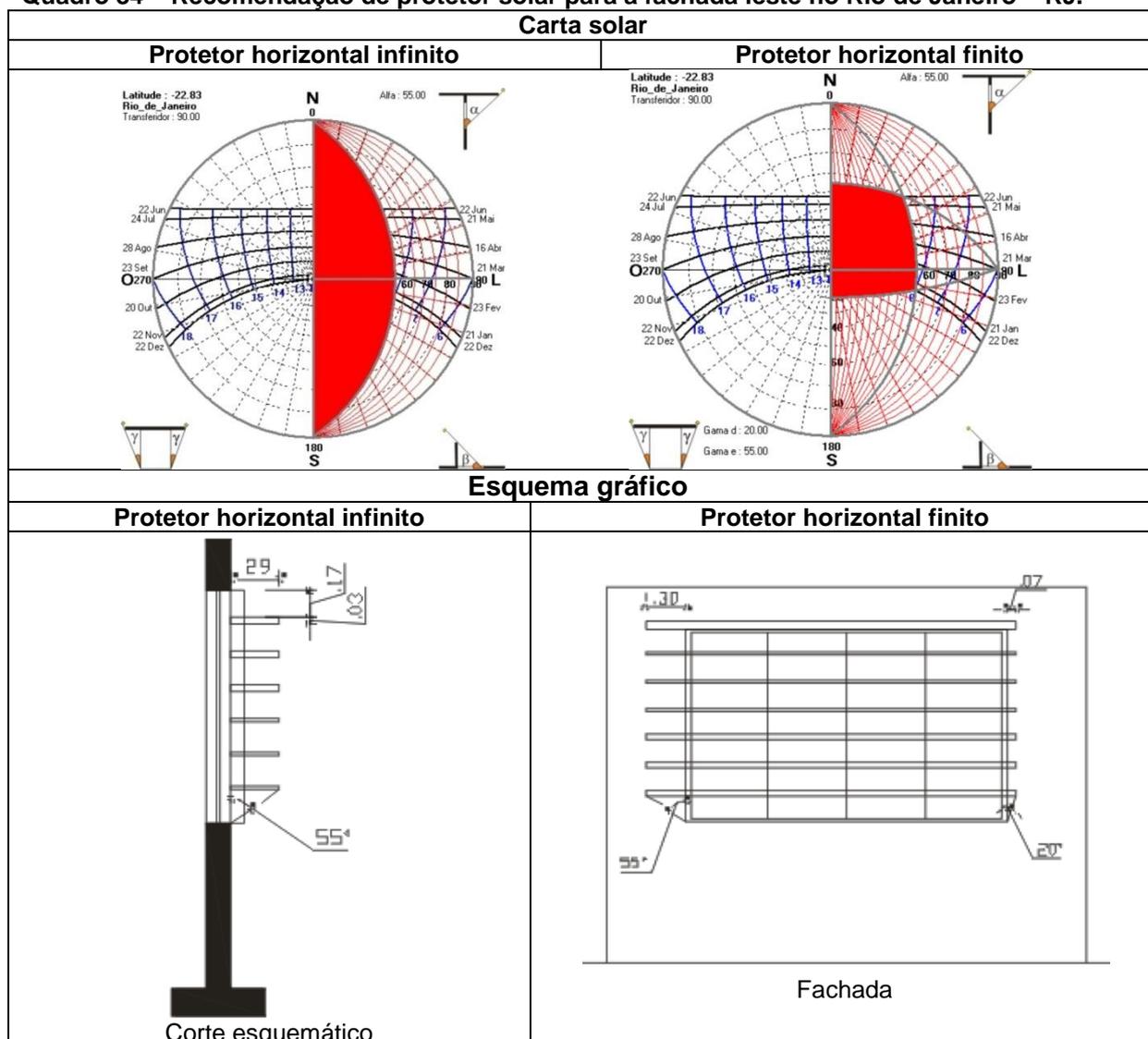
Na **fachada norte** no Rio de Janeiro, assim como nas demais capitais analisadas, é recomendado protetor horizontal ou misto (vertical e horizontal). O protetor solar horizontal com ângulo vertical frontal de 70° é capaz de proporcionar à fachada sombreamento quase total, estando desprotegido apenas o período de 17h00min e 18h00min entre junho e setembro. Porém, caso se deseje aumentar a proteção da fachada contra a radiação solar direta, pode-se optar por um protetor misto, neste caso, o ângulo vertical frontal é de 50° e o ângulo horizontal lateral esquerdo e direito é de 50° , conforme o quadro a seguir (Quadro 33).

Quadro 33 – Recomendações de protetor solar para a fachada norte no Rio de Janeiro – RJ.



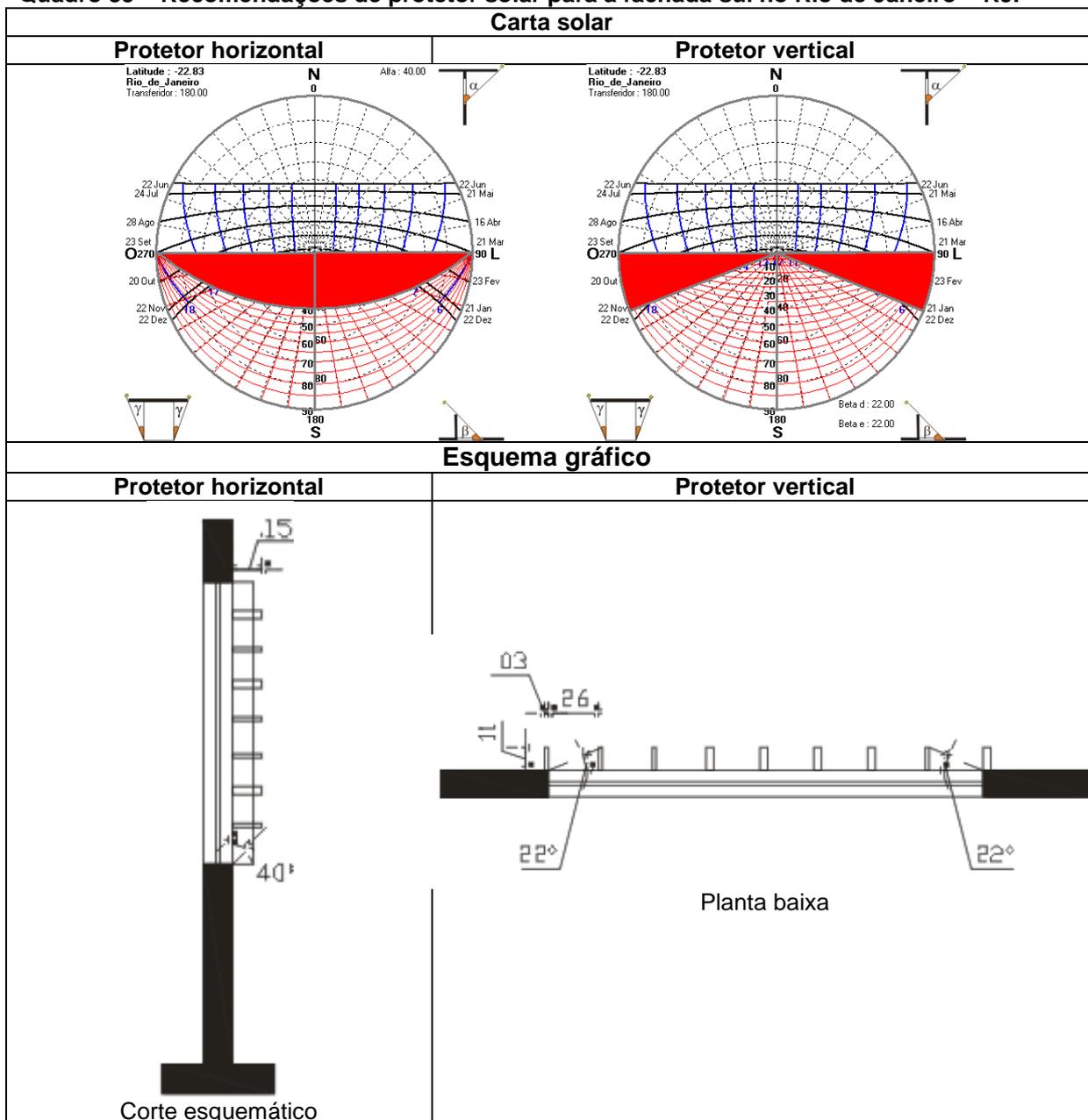
Na **fachada leste** os protetores solares horizontais são os mais indicados, sendo tanto infinitos ou finitos. No primeiro caso, para protetor horizontal infinito, o ângulo vertical frontal é de 55° , no caso de protetor solar horizontal finito, o ângulo de proteção vertical frontal é de 55° e o ângulo vertical lateral esquerdo de 55° e direito de 20° , conforme o Quadro 34 a seguir.

Quadro 34 – Recomendação de protetor solar para a fachada leste no Rio de Janeiro – RJ.



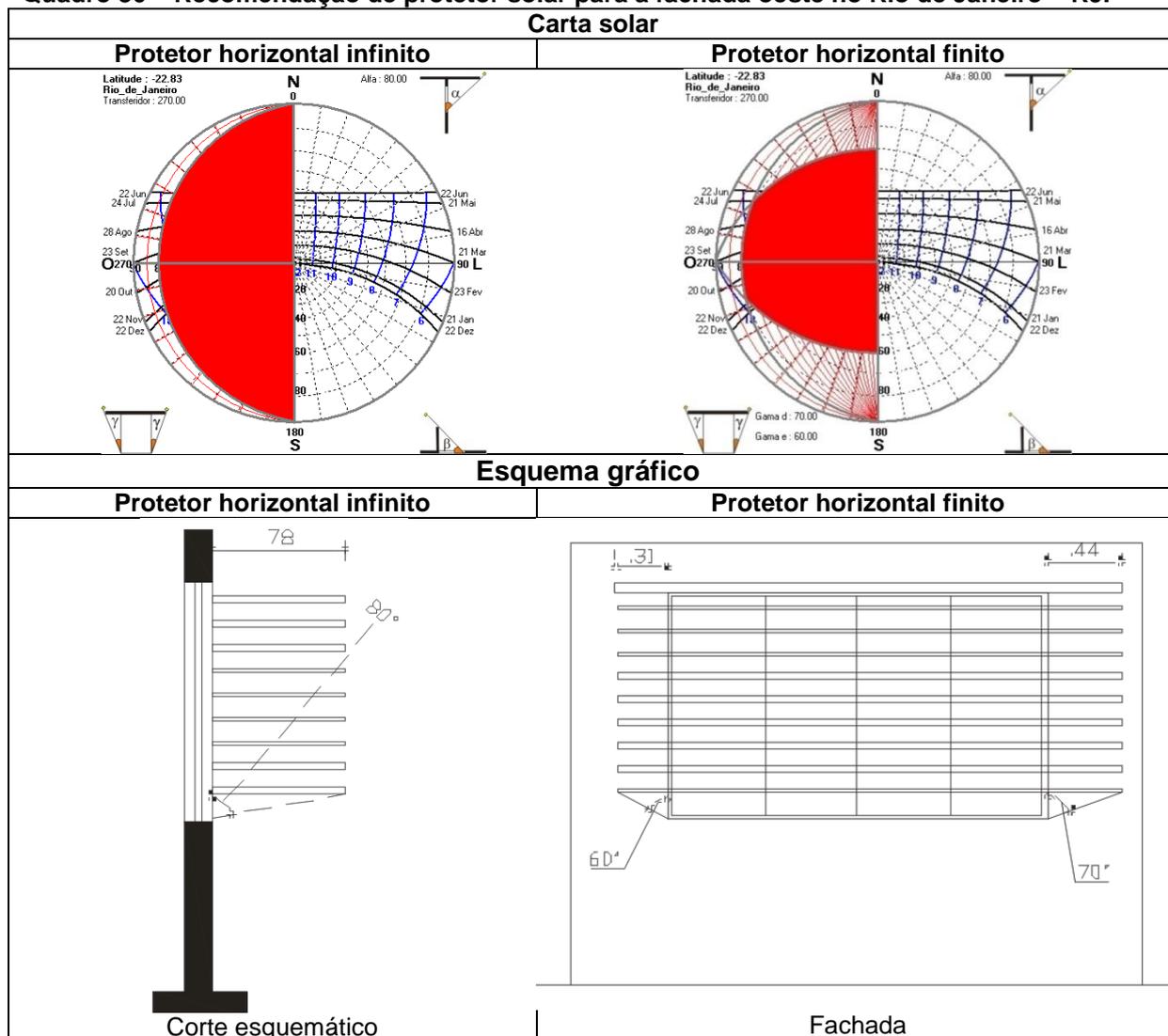
Para a **fachada sul** o protetor solar recomendado é o horizontal, com ângulo vertical frontal de 40° , e o vertical, com ângulo horizontal lateral direito e esquerdo de 22° , conforme o Quadro 35 a seguir.

Quadro 35 – Recomendações de protetor solar para a fachada sul no Rio de Janeiro – RJ.



Para a **fachada oeste** o protetor solar indicado é o horizontal, podendo-se optar pelo horizontal infinito ou finito. Sendo o horizontal infinito, o ângulo vertical frontal é de 80° , sendo o finito, o ângulo vertical frontal é de 80° e o vertical lateral esquerdo de 60° e direito de 70° , conforme é mostrado no quadro a seguir (Quadro 36).

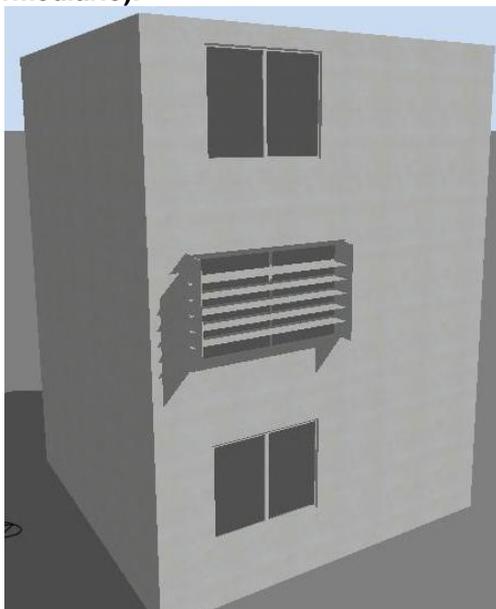
Quadro 36 – Recomendação de protetor solar para a fachada oeste no Rio de Janeiro – RJ.



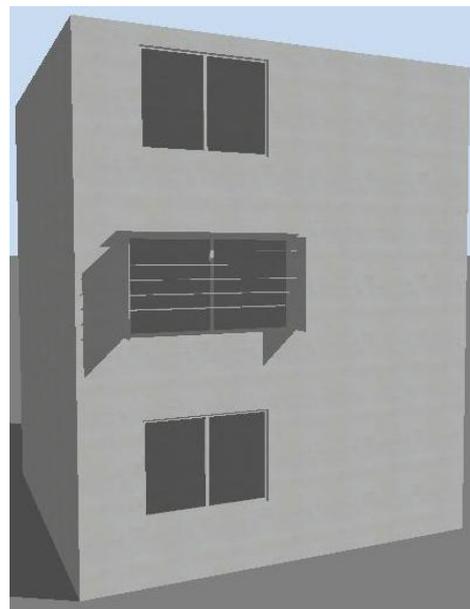
4.3. ESTABELECIMENTO DO MODELO MODIFICADO 02 COM PROTEÇÃO SOLAR

Os protetores solares estudados foram aplicados ao modelo modificado 02 para ser simulado o comportamento térmico do dormitório 02. A seguir são mostradas as perspectivas (Figura 12 e Figura 13) dos modelos modificados 02 com proteção solar para cada cidade e orientação estudadas.

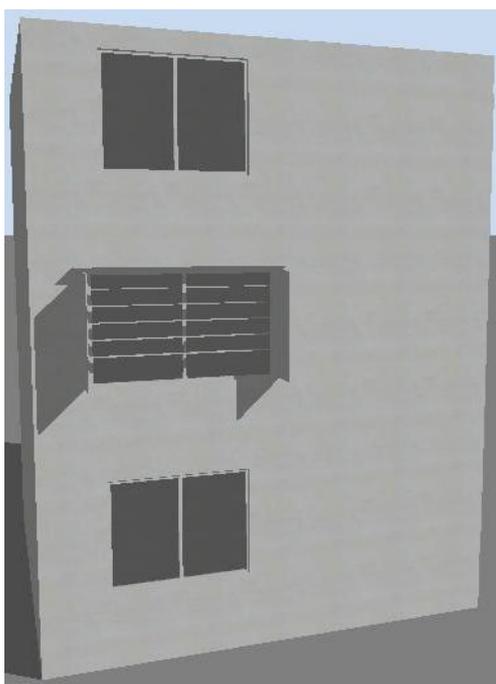
Figura 12 – Perspectivas dos modelos modificados 02 com proteção solar para cada cidade estudada na orientação Norte (aumento das aberturas e proteção solar apenas no pavimento intermediário).



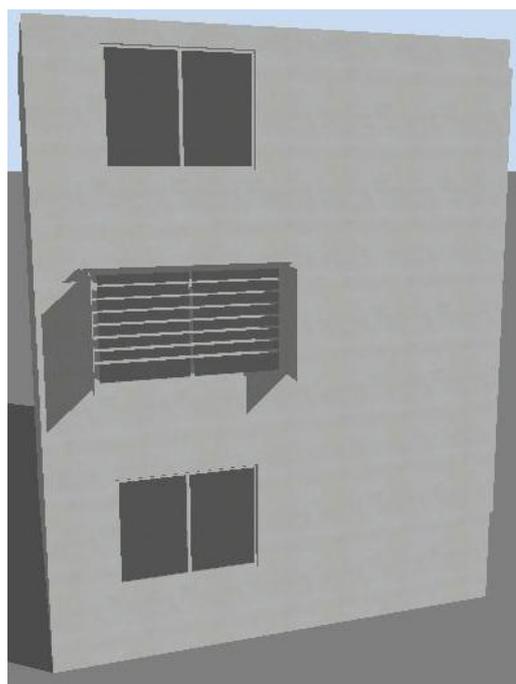
a)



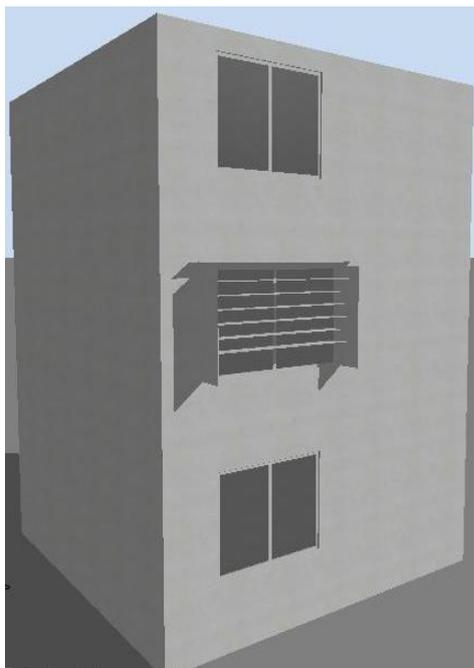
b)



c)



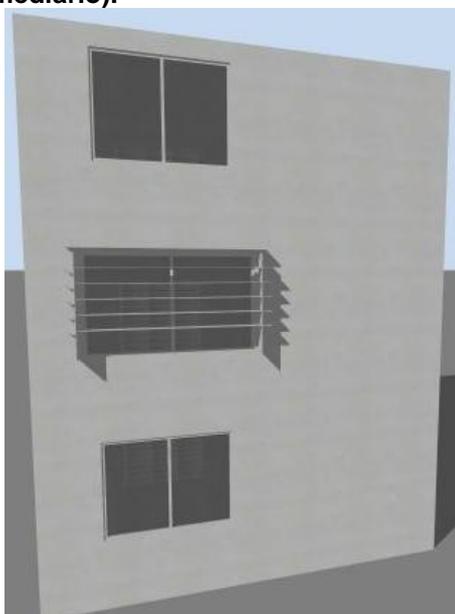
d)



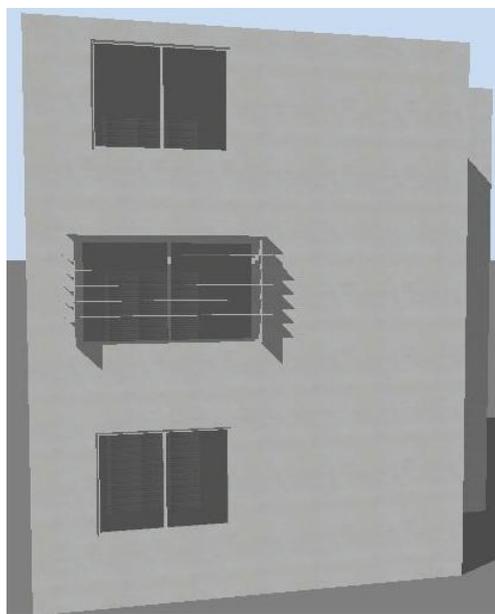
e)

Orientação Norte. a) Belém – PA; b) Fortaleza – CE; c) Maceió – AL; d) Salvador – BA; e) Rio de Janeiro – RJ.

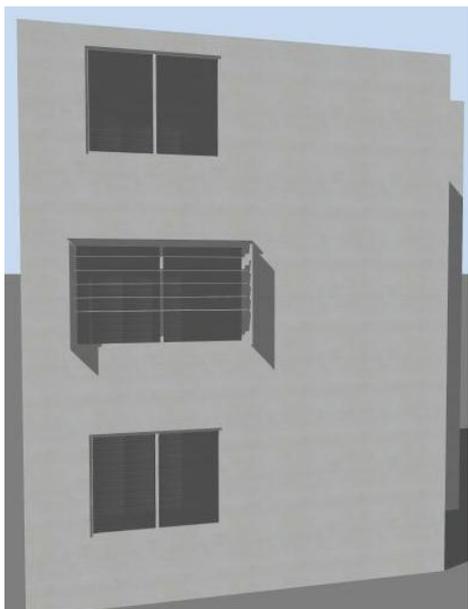
Figura 13 – Perspectivas dos modelos modificados 02 com proteção solar para cada cidade estudada na orientação Sul (aumento das aberturas e proteção solar apenas no pavimento intermediário).



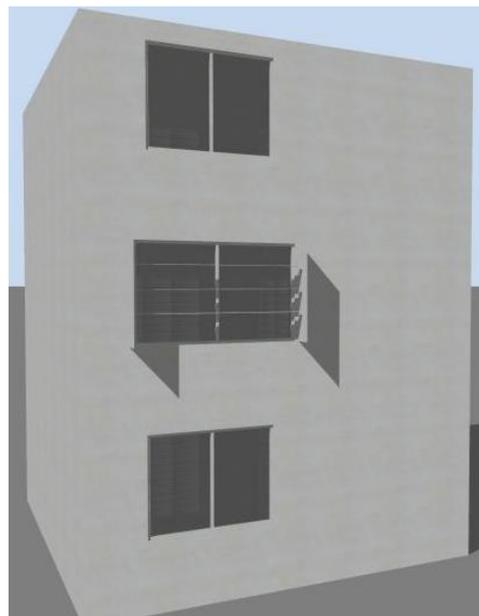
a)



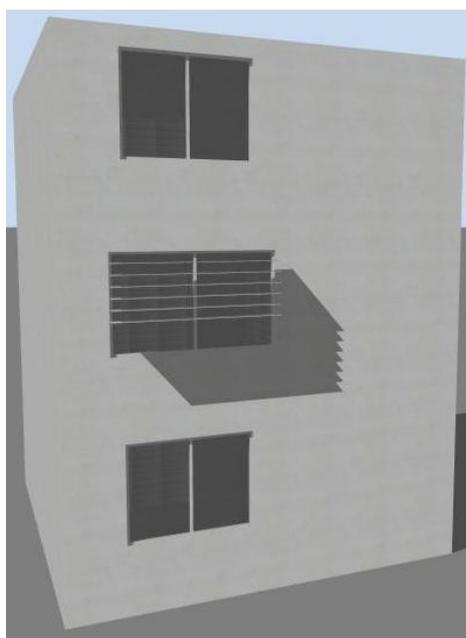
b)



c)



d)



e)

Orientação Sul. a) Belém – PA; b) Fortaleza – CE; c) Maceió – AL; d) Salvador – BA; e) Rio de Janeiro – RJ.

4.4. ANÁLISE DAS ABERTURAS EFETIVAS PARA VENTILAÇÃO DOS MODELOS

As aberturas efetivas para ventilação constituem as aberturas que admitem a livre circulação do ar para ambientes de longa permanência (salas, dormitórios e cozinha), excetuando-se os perfis de vidro ou de qualquer outro elemento e as áreas de portas (ABNT, 2005; ABNT, 2010).

Diante disso, as aberturas efetivas para ventilação do modelo de referência em comparação com os modelos modificado 01 e modelo modificado 02; considerando a razão área do piso/área de abertura efetiva para ventilação são expressos de acordo com a tabela a seguir (Tabela 10).

Tabela 10 – Comparação entre as aberturas efetivas para ventilação dos modelos de referência, modificado 01 e modificado 02.

Ambientes	Medidas das aberturas para livre ventilação (m) e relação entre Área do piso/Área livre para ventilação (%)			
	Modelo de referência (l x a/p) (m)	Modelo de referência (%)	Modelo modificado 01 (15%) (l x a/p) (m)	Modelo modificado 02 (40%) (l x a/p) (m)
Salas estar/jantar	<u>0,60/1,40</u> 1,00	6.91	<u>1,30x1,40</u> 1,00	<u>3,50x1,40</u> 1,00
Dormitório 01	<u>0,60/1,40</u> 1,00	13.72	<u>0,65x1,40</u> 1,00	<u>1,75x1,40</u> 1,00
Dormitório 02	<u>0,60/1,40</u> 1,00	10.46	<u>0,90x1,40</u> 1,00	<u>2,30x1,40</u> 1,00
Cozinha	<u>0,60/1,20</u> 1,20	11.76	<u>0,80x1,20</u> 1,20	<u>1,60x1,40</u> 1,00

Fonte: ABNT, 2005; ABNT, 2010.

Ante as medidas encontradas na Tabela 10 observou-se primeiramente que, no modelo de referência, todos os cômodos estão com a área efetiva para ventilação abaixo dos 15% recomendados pela norma NBR 15575 (ABNT, 2010). Nesse modelo, a situação nas salas de estar/jantar apresenta-se como a mais crítica, com 6,91% na relação entre a área do piso e sua área efetiva para ventilação.

No modelo modificado 01 a tipologia da janela nas salas de estar/jantar continua sendo do tipo de correr, basta apenas optar por duas esquadrias de janelas, em paredes diferentes, garantindo assim a área efetiva para ventilação recomendada pela Norma NBR 15575 (ABNT, 2010).

Para o modelo modificado 02, nas salas de estar/jantar não é possível utilizar a tipologia de correr, visto que as dimensões propostas pela Norma NBR 15220-3 não se encaixam nas dimensões das paredes do ambiente. Os quadros da comparação das esquadrias nos modelos são mostrados a seguir (Quadro 37, Quadro 38, Quadro 39, Quadro 40).

Quadro 37: Croquis das janelas das salas de estar/jantar dos modelos analisados.

Modelo de referência	Modelo modificado 01	Modelo modificado 02
<p>Modelo de referência</p> <p>estor/jantar 12,15m²</p> <p>1,20x1,40 1,00</p> <p>.80x2,10</p> <p>ball</p>	<p>Modelo modificado 01</p> <p>estor/jantar 12,15m²</p> <p>1,65x1,40 1,00</p> <p>0,95x1,40 1,00</p> <p>.80x2,10</p> <p>ball</p>	<p>Modelo modificado 02</p> <p>estor/jantar 12,15m²</p> <p>1,65x1,40 1,00</p> <p>1,94x1,40 1,00</p> <p>.80x2,10</p> <p>ball</p>

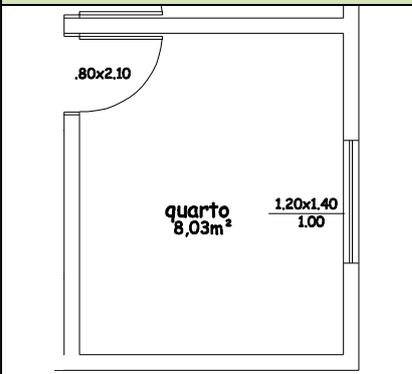
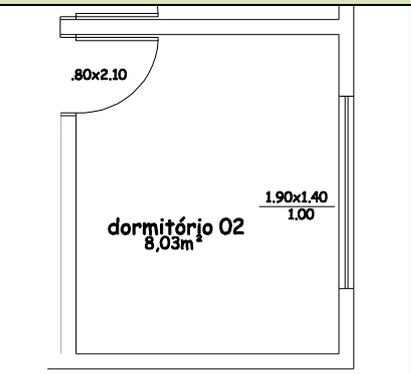
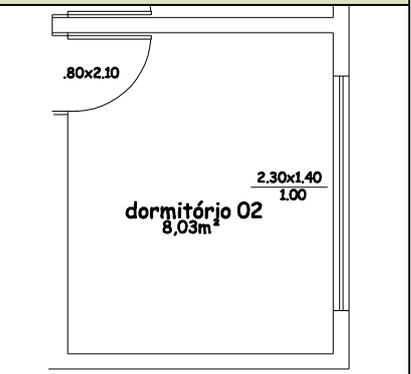
O dormitório 01 apresenta-se como a melhor situação do modelo de referência em relação à abertura efetiva para ventilação. No modelo modificado 01 a tipologia de janelas permanecem as do tipo de correr, enquanto no modelo modificado 02 o vão proposto para a abertura efetiva de ventilação foi superior às dimensões da parede na qual estava inserida, sendo então modificada a tipologia da janela para pivotante vertical, a fim de conseguir 100% de abertura.

Quadro 38: Croquis das janelas dos dormitórios 01 dos modelos analisados.

Modelo de referência	Modelo modificado 01	Modelo modificado 02
<p>Modelo de referência</p> <p>quarto 6,12m²</p> <p>1,20x1,40 1,00</p> <p>.80x2,10</p>	<p>Modelo modificado 01</p> <p>dormitório 01 6,02m²</p> <p>1,30x1,40 1,00</p> <p>.80x2,10</p>	<p>Modelo modificado 02</p> <p>dormitório 01 6,02m²</p> <p>1,75x1,40 1,00</p> <p>.80x2,10</p>

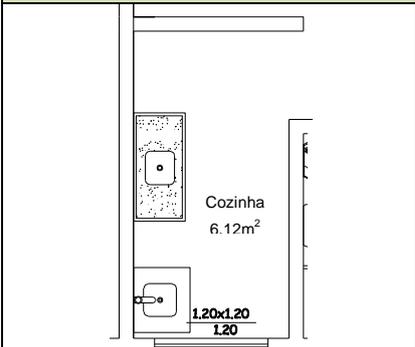
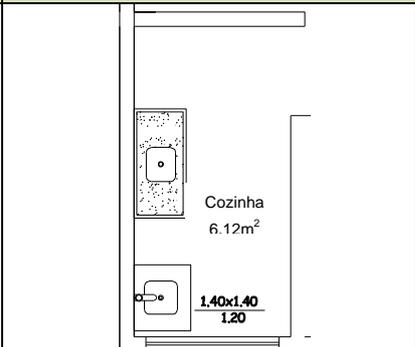
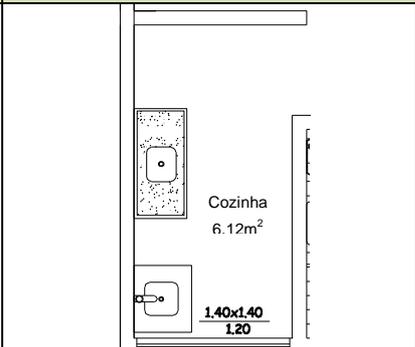
O dormitório 02 foi o segundo pior resultado do modelo de referência em relação à abertura efetiva para ventilação, com 10,46%. O aumento do vão efetivo para ventilação no modelo modificado 01 permitiu ainda o uso de esquadria de janela do tipo de correr, e no modelo modificado 02, o vão proposto para a abertura efetiva de ventilação foi superior às dimensões da parede na qual estava inserida, sendo assim, a tipologia da janela foi alterada para do tipo pivotante vertical ou de abrir (Quadro 39).

Quadro 39: Croquis das janelas dos dormitórios 02 dos modelos analisados.

Modelo de referência	Modelo modificado 01	Modelo modificado 02
 <p>quarto 8,03m²</p> <p>0,80x2,10</p> <p>1,20x1,40 1,00</p>	 <p>dormitório 02 8,03m²</p> <p>0,80x2,10</p> <p>1,90x1,40 1,00</p>	 <p>dormitório 02 8,03m²</p> <p>0,80x2,10</p> <p>2,30x1,40 1,00</p>

A cozinha obteve a segunda melhor situação no modelo de referência, com a relação de 11,76% entre a área do piso e a área de abertura para ventilação. Com a relação de 15% entre a área do piso e da abertura efetiva para ventilação, o modelo modificado 01 pode permanecer com a tipologia de esquadria de janela do modelo de referência. Já o modelo modificado 02 necessitou a troca de tipologia de esquadria de janela desse cômodo para do tipo pivotante vertical, devido à área requerida pela norma ser maior que a área da parede que contém a janela (Quadro 40).

Quadro 40: Croquis das janelas das cozinhas dos modelos analisados.

Modelo de referência	Modelo modificado 01	Modelo modificado 02
 <p>Cozinha 6,12m²</p> <p>1,20x1,20 1,20</p>	 <p>Cozinha 6,12m²</p> <p>1,40x1,40 1,20</p>	 <p>Cozinha 6,12m²</p> <p>1,40x1,40 1,20</p>

Diante dessas configurações, observa-se que o modelo de referência adotado neste trabalho encontra-se com suas aberturas livres para ventilação aquém das recomendadas pelas normas NBR 15575 (ABNT, 2010) e NBR 15220-3 (ABNT, 2005), sendo necessárias as mudanças de esquadrias de janelas aqui recomendadas, tanto em tamanho quanto em forma, em alguns casos, para atender às diretrizes propostas por elas.

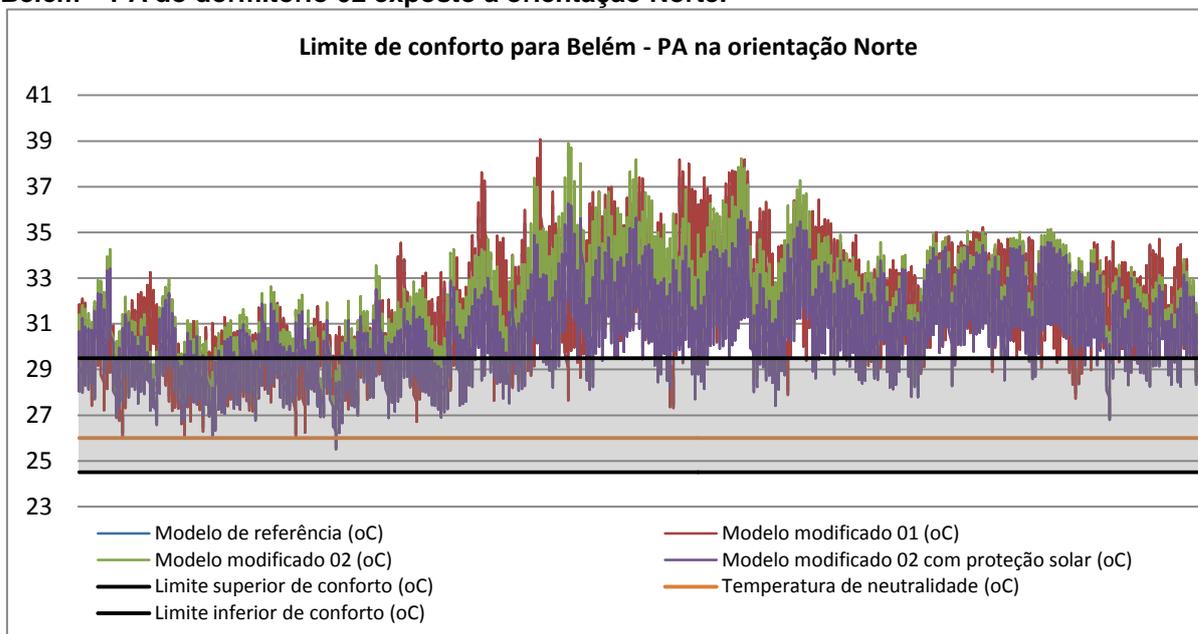
4.5. SIMULAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS MODELOS ANALISADOS NAS CIDADES ESTUDADAS

Nesta seção são apresentados os resultados das simulações do comportamento térmico dos modelos de referência, modelo modificado 01 e modelo modificado 02 e modelo modificado 02 com proteção solar, expostos às orientações norte e sul, para as cidades estudadas. O intervalo de conforto para o dormitório 02 foi estabelecido através da metodologia de Peeters et al (2009) para quartos, obtendo-se a temperatura de neutralidade em 26°C e, com a aplicação das Equações 9 e 10, os seguintes limites de conforto: 29,5°C (limite superior) e 24,5°C (limite inferior), para todas as cidades analisadas.

4.5.1. Belém – PA

O gráfico a seguir (Gráfico 1) apresenta as variações do comportamento térmico anual no interior do dormitório 02 nos **quatro modelos analisados** expostos à **orientação Norte**. Foi observado que o **modelo de referência** obteve 82.4% de horas de temperaturas do ar internas resultantes acima do limite superior de conforto. O **modelo modificado 01** resultou em 81.5% de suas horas de temperaturas do ar internas resultantes acima do limite superior de conforto e 0,9°C de diferença máxima entre ele e o modelo de referência, indicando que o aumento da área efetiva para ventilação em 15% da área do piso não proporcionou redução na temperatura interna do dormitório 02 quando exposto a orientação Norte, uma vez que, das 8760 horas analisadas, o modelo modificado 01 atingiu temperaturas do ar internas resultantes acima do modelo de referência em 4490 delas, compreendendo 51.2% das horas simuladas.

Gráfico 1 – Comparação anual das temperaturas do ar e limite de conforto para a cidade de Belém – PA do dormitório 02 exposto à orientação Norte.



Limite de conforto para a orientação Norte utilizando a temperatura do ar. Fonte: Simulações realizadas no programa computacional Desing Builder (DESIGNBUILDER SOFTWARE LTD, 2010).

O **modelo modificado 02** também obteve temperaturas do ar internas resultantes mais elevadas em relação ao modelo de referência, com diferença máxima entre eles de $6,68^{\circ}\text{C}$, indicando que o aumento da área efetiva para ventilação em 40% da área do piso não proporcionou redução na temperatura interna do dormitório 02 quando exposto a orientação Norte em Belém – PA, uma vez que, das 8760 horas analisadas, 3529 estiveram acima das encontradas no modelo de referência, totalizando 40.2% das horas simuladas e 78.4% acima do limite superior de conforto térmico sugerido.

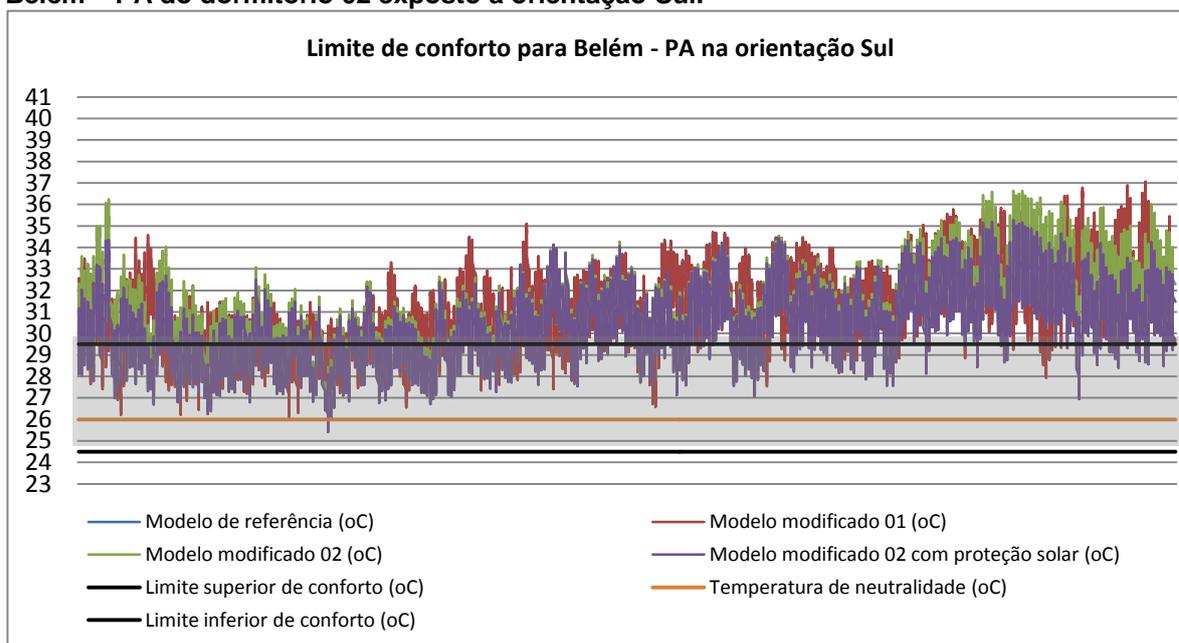
O **modelo modificado 02 com proteção solar** atingiu os melhores resultados dentre os demais modelos estudados. Em relação ao modelo de referência, as temperaturas do ar internas resultantes sofreram diminuição em 6640 das 8670 horas analisadas, indicando que em apenas 24% das horas analisadas, durante todo o ano, esse modelo esteve com suas temperaturas acima das encontradas no modelo de referência. Porém, apesar desses resultados, em 71% das horas analisadas o modelo modificado 02 com proteção solar alcançou temperaturas do ar internas resultantes acima do limite superior de conforto térmico sugerido para a cidade.

A seguir, o Gráfico 2 apresenta as variações do comportamento térmico no interior do dormitório 02 para os **quatro modelos analisados à orientação Sul** na cidade de Belém – PA. Foi observado que o **modelo de referência** obteve 80% de horas de temperaturas do ar internas resultantes acima do limite superior de conforto, totalizando 7058 horas/ano. O **modelo modificado 01** resultou em 79% de suas horas de temperaturas do ar internas resultantes acima do limite superior de conforto, totalizando 6984 horas/ano e $4,8^{\circ}\text{C}$ de diferença máxima entre ele e o modelo de referência, indicando que o aumento da área efetiva para ventilação em 15% da área do piso não proporcionou redução na temperatura interna do dormitório 02 quando exposto a orientação Sul, uma vez que, das 8760 horas analisadas, o modelo modificado 01 atingiu temperaturas do ar internas resultantes acima do modelo de referência em 3854 delas, compreendendo 44% das horas simuladas.

O **modelo modificado 02** também obteve temperaturas do ar internas resultantes mais elevadas em relação ao modelo de referência, com diferença máxima entre eles de $4,8^{\circ}\text{C}$, indicando que o aumento da área efetiva para

ventilação em 40% da área do piso não proporcionou redução na temperatura interna do dormitório 02 quando exposto a orientação Norte em Belém – PA, uma vez que, das 8760 horas analisadas, 3656 estiveram acima das encontradas no modelo de referência, totalizando 41.7% das horas simuladas e 75.2% acima do limite superior de conforto térmico sugerido.

Gráfico 2 – Comparação anual das temperaturas do ar e limite de conforto para a cidade de Belém – PA do dormitório 02 exposto à orientação Sul.



Limite de conforto para a orientação Sul utilizando a temperatura do ar. Fonte: Simulações realizadas no programa computacional Desing Builder (DESIGNBUILDER SOFTWARE LTD, 2010).

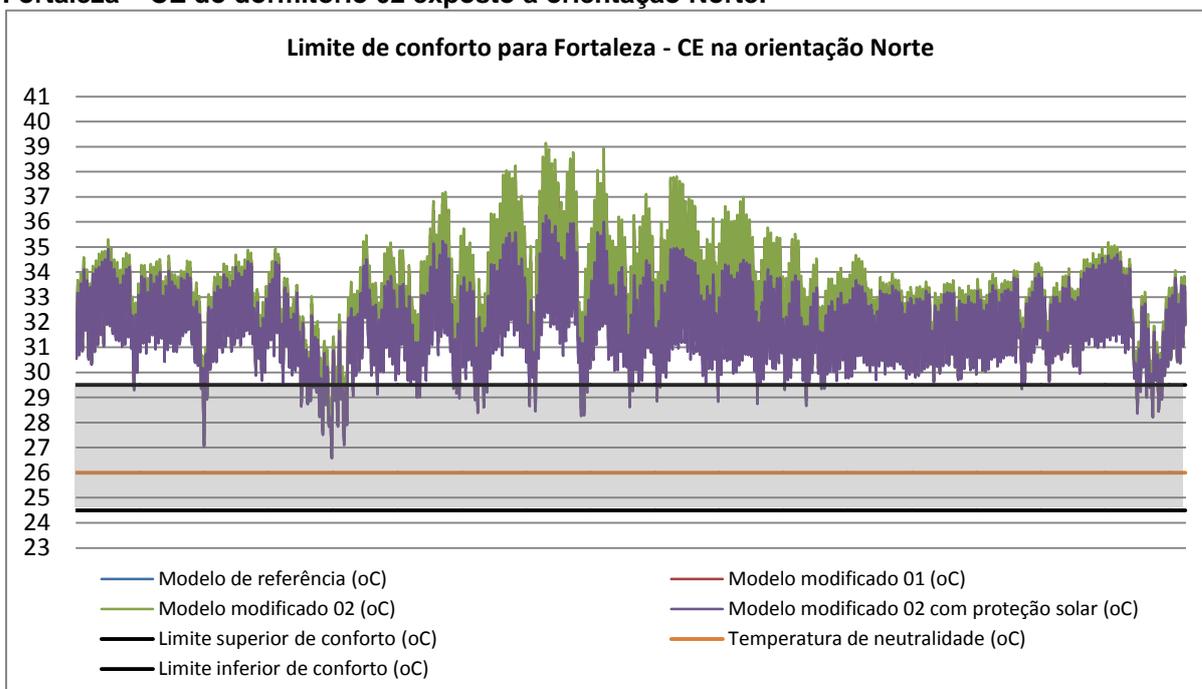
O **modelo modificado 02 com proteção solar** atingiu os melhores resultados dentre os demais modelos estudados. Em relação ao modelo de referência, as temperaturas do ar internas resultantes sofreram diminuição em 6208 das 8670 horas analisadas, indicando que em apenas 29% das horas analisadas, durante todo o ano, esse modelo esteve com suas temperaturas acima das encontradas no modelo de referência. Embora esses resultados apontem grande diminuição de temperatura, em 68% das horas analisadas o modelo modificado 02 com proteção solar alcançou temperaturas do ar internas resultantes acima do limite superior de conforto térmico sugerido para a cidade.

4.5.2. Fortaleza – CE

O Gráfico 3 apresenta as variações do comportamento térmico no interior do dormitório 02 nos **quatro modelos analisados** expostos à **orientação Norte**. Foi observado que o **modelo de referência** obteve 96% de horas de temperaturas do ar internas resultantes acima do limite superior de conforto, totalizando 8423 horas/ano.

O **modelo modificado 01** resultou em 96.8% de suas horas de temperaturas do ar internas resultantes acima do limite superior de conforto, totalizando 8482 horas/ano em desconforto por calor e 1,42°C de diferença máxima entre ele e o modelo de referência, indicando que o aumento da área efetiva para ventilação em 15% da área do piso não proporcionou redução na temperatura interna do dormitório 02 quando exposto a orientação Norte, uma vez que, das 8760 horas analisadas, o modelo modificado 01 atingiu temperaturas do ar internas resultantes acima do modelo de referência em 8676 delas, compreendendo 99% das horas simuladas.

Gráfico 3 – Comparação anual das temperaturas do ar e limite de conforto para a cidade de Fortaleza – CE do dormitório 02 exposto à orientação Norte.



Limite de conforto para a orientação Norte utilizando a temperatura do ar. Fonte: Simulações realizadas no programa computacional Desing Builder (DESIGNBUILDER SOFTWARE LTD, 2010).

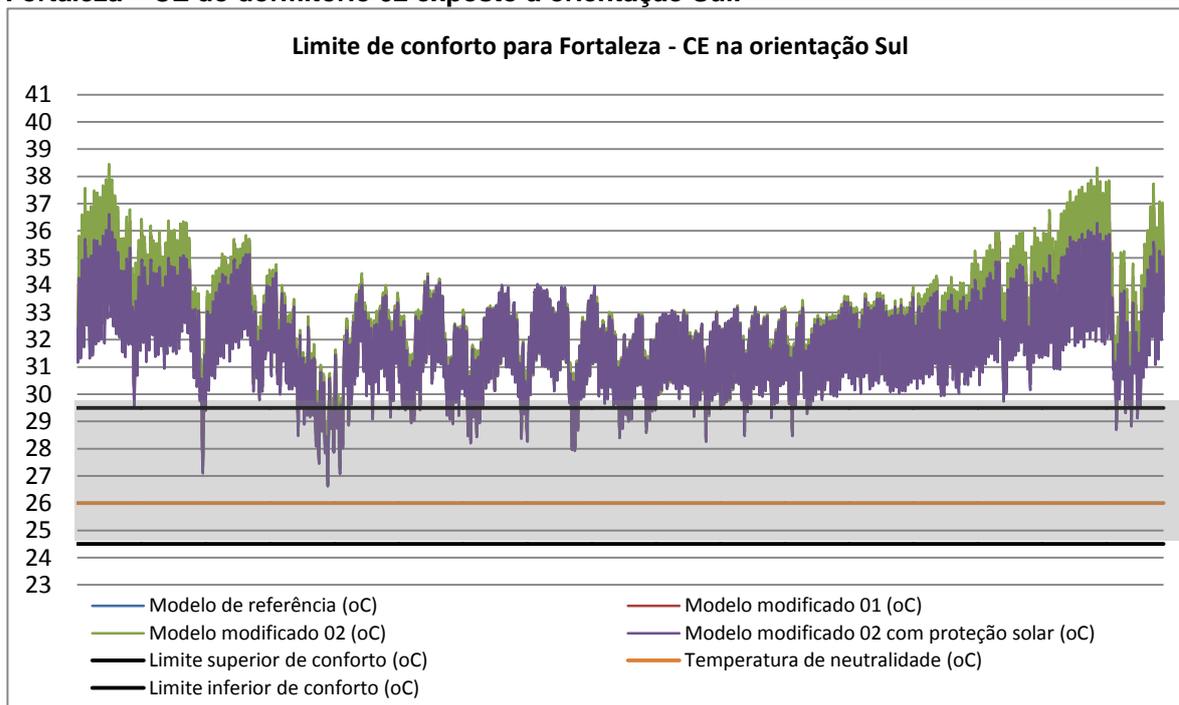
O **modelo modificado 02** também obteve temperaturas do ar internas resultantes mais elevadas em relação ao modelo de referência, com diferença máxima entre eles de 2,19°C, indicando que o aumento da área efetiva para ventilação em 40% da área do piso não proporcionou redução na temperatura interna do dormitório 02 quando exposto a orientação Norte na cidade de Fortaleza, uma vez que, das 8760 horas analisadas, 8424 estiveram acima das encontradas no modelo de referência, totalizando 96% das horas simuladas e 97% acima do limite superior de conforto térmico sugerido, totalizando 8498 horas/ano.

O **modelo modificado 02 com proteção solar** atingiu os melhores resultados dentre os demais modelos estudados. Em relação ao modelo de referência, as temperaturas do ar internas resultantes sofreram diminuição em 7210 das 8670 horas analisadas, indicando que em apenas 17.6% das horas analisadas, durante todo o ano, esse modelo esteve com suas temperaturas acima das encontradas no modelo de referência. Embora esses resultados apontem grande diminuição de temperatura, em 95% das horas analisadas o modelo modificado 02 com proteção solar alcançou temperaturas do ar internas resultantes acima do limite superior de conforto térmico sugerido para a cidade, totalizando 8349 horas/ano em desconforto por calor.

O Gráfico 4 a seguir apresenta as variações do comportamento térmico no interior do dormitório 02 para os **quatro modelos analisados** expostos à **orientação Sul** na cidade de Fortaleza – CE. O **modelo de referência** obteve 95.3% de horas de temperaturas do ar internas resultantes acima do limite superior de conforto, totalizando 8352 das 8760 horas simuladas.

O **modelo modificado 01** resultou em 96% de suas horas de temperaturas do ar internas resultantes acima do limite superior de conforto, totalizando 8401 horas/ano em desconforto por calor e 1,16°C de diferença máxima entre ele e o modelo de referência, indicando que o aumento da área efetiva para ventilação em 15% da área do piso não proporcionou redução na temperatura interna do dormitório 02 quando exposto a orientação Norte, uma vez que, das 8760 horas analisadas, o modelo modificado 01 atingiu temperaturas do ar internas resultantes acima do modelo de referência em 8540 delas, compreendendo 97.5% das horas simuladas.

Gráfico 4 – Comparação anual das temperaturas do ar e limite de conforto para a cidade de Fortaleza – CE do dormitório 02 exposto à orientação Sul.



Limite de conforto para a orientação Sul utilizando a temperatura do ar. Fonte: Simulações realizadas no programa computacional Desing Builder (DESIGNBUILDER SOFTWARE LTD, 2010).

O **modelo modificado 02** também obteve temperaturas do ar internas resultantes mais elevadas em relação ao modelo de referência, com diferença máxima entre eles de 1,76°C, indicando que o aumento da área efetiva para ventilação em 40% da área do piso não proporcionou redução na temperatura interna do dormitório 02 quando exposto a orientação Sul na cidade de Fortaleza, uma vez que, das 8760 horas analisadas, 8151 estiveram acima das encontradas no modelo de referência, totalizando 93% das horas simuladas e 96% das horas com temperatura do ar interna resultante acima do limite superior de conforto térmico sugerido, totalizando 8430 horas/ano.

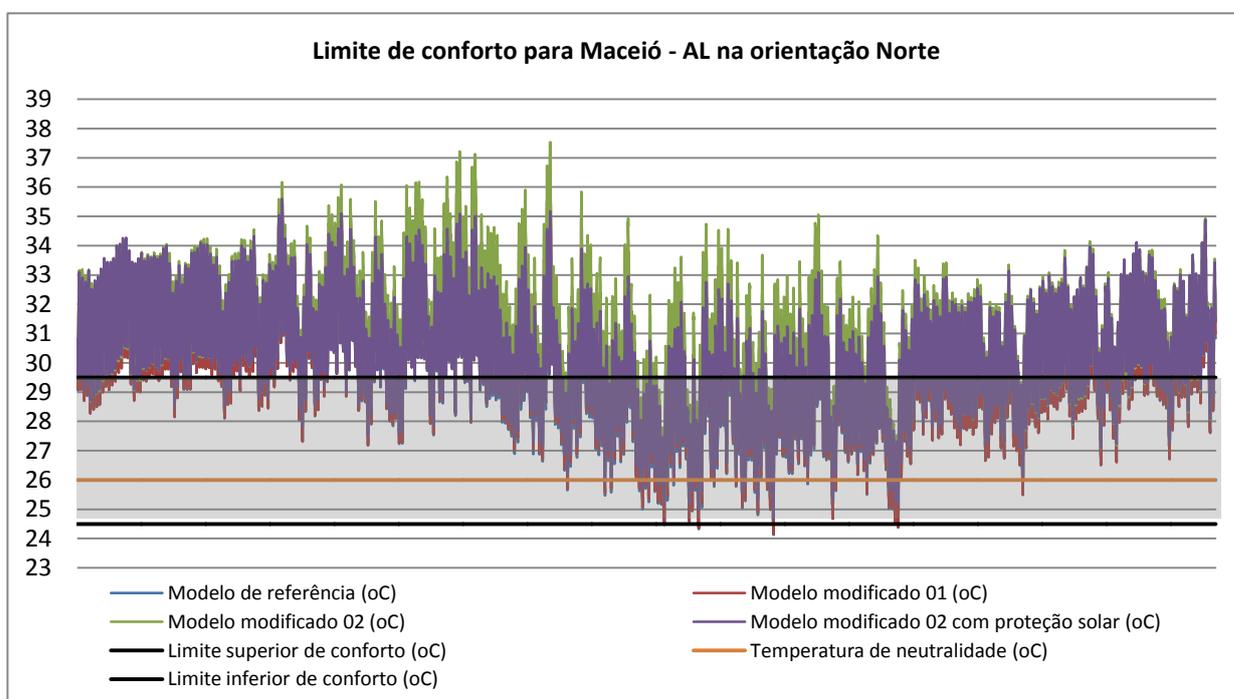
O **modelo modificado 02 com proteção solar** atingiu os melhores resultados dentre os demais modelos estudados. Em relação ao modelo de referência, as temperaturas do ar internas resultantes sofreram diminuição em 5910 das 8670 horas analisadas, indicando que em apenas 38.5% das horas analisadas, durante todo o ano, esse modelo esteve com suas temperaturas acima das encontradas no modelo de referência. Embora esses resultados apontem grande

diminuição de temperatura, em 95% das horas analisadas o modelo modificado 02 com proteção solar alcançou temperaturas do ar internas resultantes acima do limite superior de conforto térmico sugerido para a cidade, totalizando 8324 horas/ano em desconforto por calor.

4.5.3. Maceió – AL

O gráfico a seguir (Gráfico 5) apresenta a variação do comportamento térmico anual no interior do dormitório 02 nos **quatro modelos analisados** expostos à **orientação Norte** em Maceió – AL. No **modelo de referência** foi observado que, das 8760 horas analisadas, 5243 delas, ou seja, 59.8% encontram-se acima do limite superior de conforto sugerido, indicando desconforto por calor nesse modelo e orientação.

Gráfico 5 – Comparação anual das temperaturas do ar e limite de conforto para a cidade de Maceió – AL do dormitório 02 exposto à orientação Norte.



Limite de conforto para a orientação Norte utilizando a temperatura do ar. Fonte: Simulações realizadas no programa computacional Desing Builder (DESIGNBUILDER SOFTWARE LTD, 2010).

O **modelo modificado 01** para Maceió na orientação Norte resultou em 64.3% de suas horas de temperaturas do ar internas resultantes acima do limite superior de conforto, totalizando 5637 horas/ano em desconforto por calor e 1,61°C de diferença máxima entre ele e o modelo de referência, indicando que o aumento da área efetiva para ventilação em 15% da área do piso não proporcionou redução na temperatura interna do dormitório 02 quando exposto a orientação Norte, uma vez que, das 8760 horas analisadas, o modelo modificado 01 atingiu temperaturas do ar internas resultantes acima do modelo de referência em 8390 delas, compreendendo 95.7% das horas simuladas.

O **modelo modificado 02** resultou em temperaturas do ar internas resultantes mais elevadas em relação ao modelo de referência do que os demais modelos, com diferença máxima entre eles de 2,91°C, indicando que o aumento da área efetiva para ventilação em 40% da área do piso não proporcionou redução na temperatura interna do dormitório 02 quando exposto a orientação Norte na cidade de Maceió, uma vez que, das 8760 horas analisadas, todas as temperaturas do ar encontraram-se acima das temperaturas do ar do modelo de referência, totalizando 100% das horas simuladas e 74.6% das horas com temperatura do ar interna resultante acima do limite superior de conforto térmico sugerido, totalizando 6535 horas/ano desconfortáveis por calor.

O **modelo modificado 02 com proteção solar** atingiu 96% das horas analisadas temperaturas do ar internas resultantes acima do modelo de referência, totalizando das 8670 analisadas, 8403 horas/ano, com diferença máxima de temperatura do ar entre eles de 1,29°C. Indicando que o aumento da área efetiva para ventilação em 40% da área do piso conjugado com o acréscimo da proteção solar não proporcionou redução na temperatura interna do dormitório 02 quando exposto a orientação Norte na cidade de Maceió, uma vez que 68.8% das horas simuladas, 6031 horas/ano, estão em condições de desconforto térmico por calor.

O gráfico a seguir (Gráfico 6) apresenta a variação do comportamento térmico no interior do dormitório 02 nos **quatro modelos analisados** expostos à **orientação Sul** em Maceió – AL. No **modelo de referência** foi observado que, das 8760 horas analisadas, 5180 delas, ou seja, 59.1% encontram-se acima do limite

modelos, mesma tendência da encontrada na orientação Norte, com diferença máxima entre eles de 2,15°C, indicando que o aumento da área efetiva para ventilação em 40% da área do piso não proporcionou redução na temperatura interna do dormitório 02 quando exposto a orientação Sul na cidade de Maceió, uma vez que, das 8760 horas analisadas, todas as temperaturas do ar encontraram-se acima das temperaturas do ar do modelo de referência, totalizando 100% das horas simuladas e 69.9% das horas com temperatura do ar interna resultante acima do limite superior de conforto térmico sugerido, totalizando 6126 horas/ano desconfortáveis por calor.

O **modelo modificado 02 com proteção solar** atingiu 84.4% das horas analisadas temperaturas do ar internas resultantes acima do modelo de referência, totalizando das 8670 analisadas, 7401 horas/ano, com diferença máxima de temperatura do ar entre eles de 1,63°C. Indicando que, apesar de ter a menor porcentagem de horas com temperaturas do ar acima das encontradas no modelo de referência, o aumento da área efetiva para ventilação em 40% da área do piso conjugado com o acréscimo da proteção solar não proporcionou redução na temperatura interna do dormitório 02 quando exposto a orientação Sul na cidade de Maceió, uma vez que 67.3% das horas simuladas, 5902 horas/ano, estão em condições de desconforto térmico por calor.

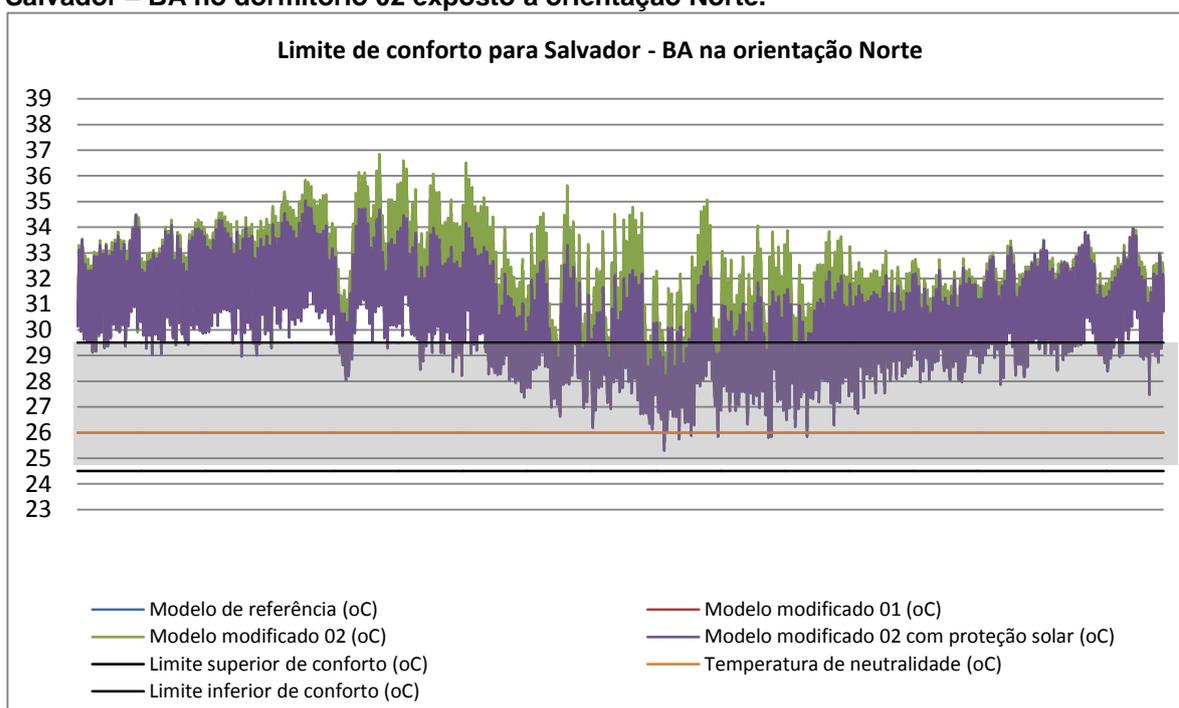
4.5.4. Salvador – BA

O Gráfico 7 a seguir apresenta as variações do comportamento térmico anual no interior do dormitório 02 nos **quatro modelos analisados** expostos à **orientação Norte** em Salvador – BA. O **modelo de referência** resultou em temperaturas do ar internas resultantes com 78.2% das horas/ano acima do limite superior de conforto térmico sugerido para a cidade, indicando desconforto por calor nesse modelo e orientação em 6856 horas por ano.

O **modelo modificado 01** obteve 81.3% de suas horas de temperaturas do ar internas resultantes acima do limite superior de conforto, totalizando 7124 horas/ano em desconforto por calor e 1,41°C de diferença máxima entre ele e o modelo de referência, indicando que o aumento da área efetiva para ventilação em

15% da área do piso não proporcionou redução na temperatura interna do dormitório 02 quando exposto a orientação Norte, uma vez que, das 8760 horas analisadas, o modelo modificado 01 atingiu temperaturas do ar internas resultantes acima do modelo de referência em 8611 delas, compreendendo 98.2% das horas simuladas, sendo considerado o pior índice dentre os modelos estudados.

Gráfico 7 – Comparação anual das temperaturas do ar e limite de conforto para a cidade de Salvador – BA no dormitório 02 exposto à orientação Norte.



Limite de conforto para a orientação Norte utilizando a temperatura do ar. Fonte: Simulações realizadas no programa computacional Desing Builder (DESIGNBUILDER SOFTWARE LTD, 2010).

O **modelo modificado 02** resultou em temperaturas do ar internas resultantes com diferença máxima entre ele e o modelo de referência de 2,17°C, indicando que o aumento da área efetiva para ventilação em 40% da área do piso não proporcionou redução na temperatura interna do dormitório 02 quando exposto a orientação Norte na cidade de Salvador, uma vez que, das 8760 horas analisadas, 8265, totalizando 94.3% das horas simuladas, encontram-se mais elevadas que o modelo de referência e 81.9% das horas com temperatura do ar interna resultante acima do limite superior de conforto térmico sugerido, totalizando 7183 horas/ano desconfortáveis por calor.

O **modelo modificado 02 com proteção solar** atingiu 21.1% das horas analisadas temperaturas do ar internas resultantes acima do modelo de referência, totalizando das 8670 analisadas, 1852 horas/ano, com diferença máxima de temperatura do ar entre eles de 0,54°C. Indicando o melhor resultado dentre os modelos analisados, porém, apesar de ter a menor porcentagem de horas com temperaturas do ar acima das encontradas no modelo de referência, o aumento da área efetiva para ventilação em 40% da área do piso conjugado com o acréscimo da proteção solar não proporcionou redução na temperatura interna do dormitório 02 quando exposto a orientação Norte na cidade de Salvador, uma vez que 73.5% das horas simuladas, 6442 horas/ano, estão acima do limite superior de conforto térmico, causando condições de desconforto térmico por calor.

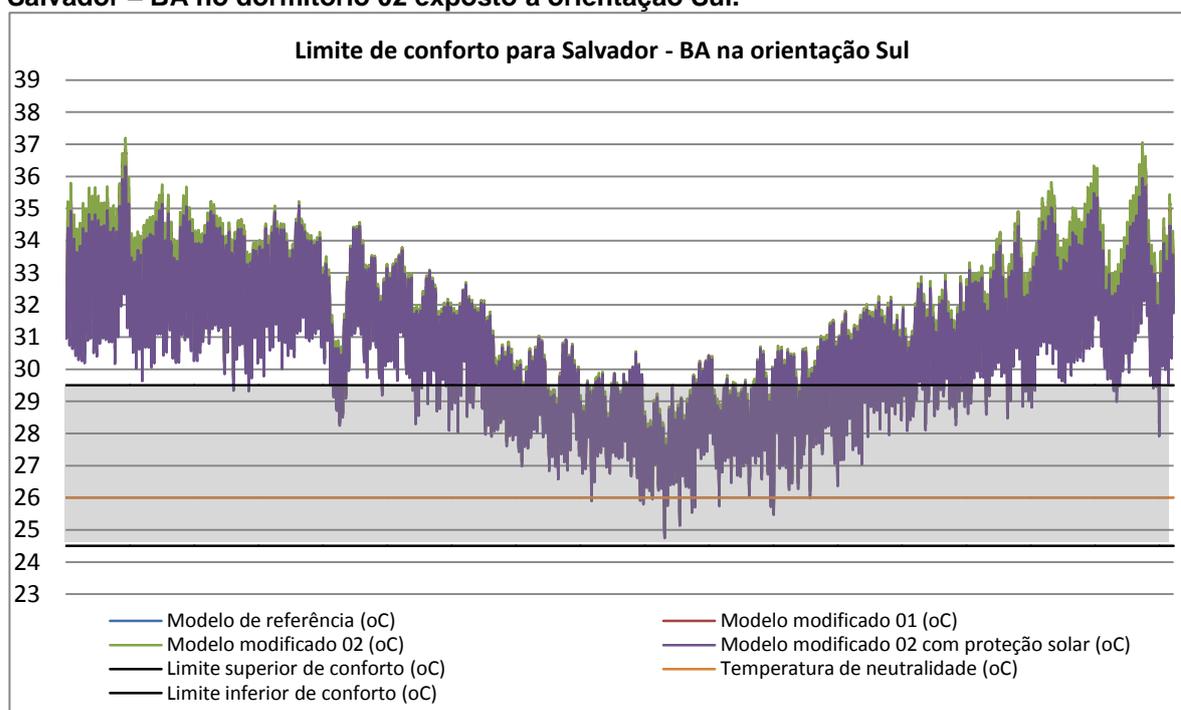
O Gráfico 8 a seguir apresenta as variações do comportamento térmico no interior do dormitório 02 nos **quatro modelos analisados** expostos à **orientação Sul**. O **modelo de referência** possui 6189 horas/ano com temperaturas do ar internas resultantes acima do limite de conforto sugerido para a cidade de Salvador, totalizando 70.6% de horas/ano desconfortáveis por calor.

O **modelo modificado 01** obteve 72.6% de suas horas de temperaturas do ar internas resultantes acima do limite superior de conforto, totalizando 6365 horas/ano em desconforto por calor e o pior desempenho em relação ao modelo de referência, com 0,9°C de diferença máxima entre eles, indicando que o aumento da área efetiva para ventilação em 15% da área do piso não proporcionou redução na temperatura interna do dormitório 02 quando exposto a orientação Norte, uma vez que, das 8760 horas analisadas, o modelo modificado 01 atingiu temperaturas do ar internas resultantes acima do modelo de referência em 8224 delas, compreendendo 93.8% das horas simuladas.

O **modelo modificado 02** resultou em temperaturas do ar internas resultantes com diferença máxima entre ele e o modelo de referência de 1,37°C, máxima diferença encontrada entre os demais modelos e o modelo de referência, indicando que o aumento da área efetiva para ventilação em 40% da área do piso não proporcionou redução na temperatura interna do dormitório 02 quando exposto a orientação Sul na cidade de Salvador, uma vez que, das 8760 horas analisadas, 7651, totalizando 87.3% das horas simuladas, encontram-se mais elevadas que o

modelo de referência e 73.4% das horas com temperatura do ar interna resultante acima do limite superior de conforto térmico sugerido, totalizando 6437 horas/ano desconfortáveis por calor.

Gráfico 8 – Comparação anual das temperaturas do ar e limite de conforto para a cidade de Salvador – BA no dormitório 02 exposto à orientação Sul.



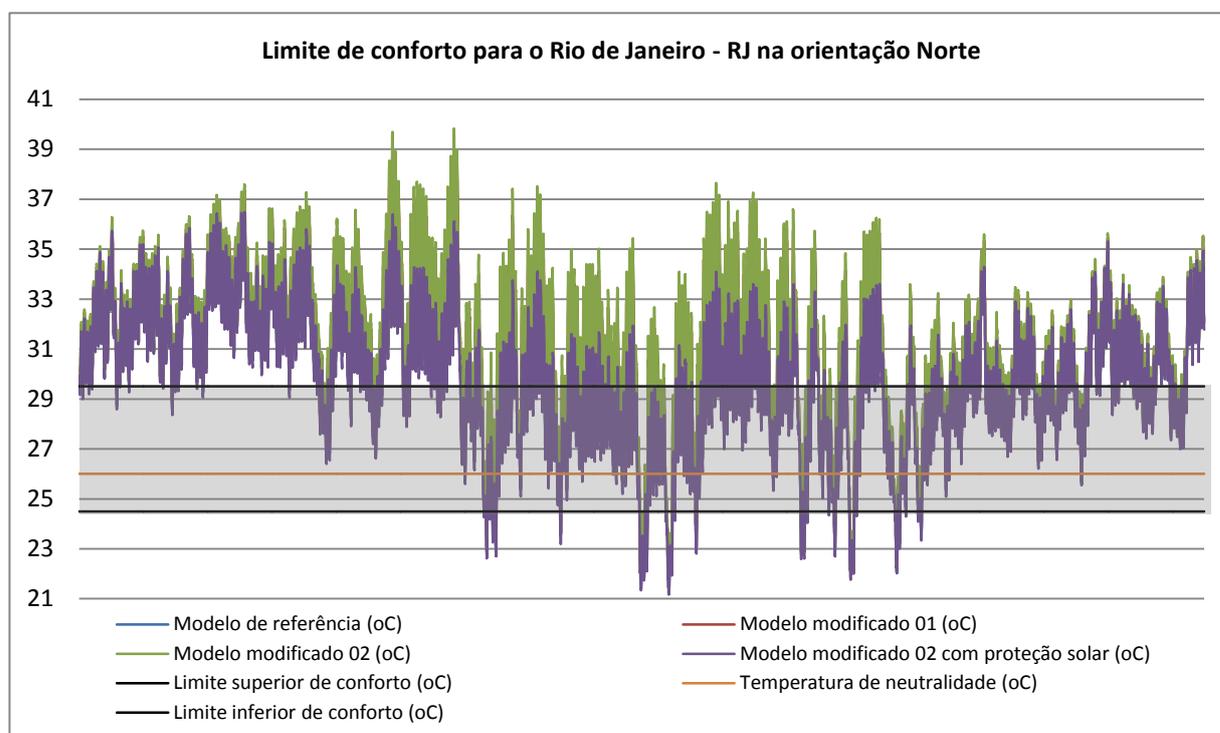
Limite de conforto para a orientação Sul utilizando a temperatura do ar. Fonte: Simulações realizadas no programa computacional Desing Builder (DESIGNBUILDER SOFTWARE LTD, 2010).

O **modelo modificado 02 com proteção solar** atingiu 43.4% das horas analisadas temperaturas do ar internas resultantes acima do modelo de referência, totalizando das 8670 analisadas, 3805 horas/ano, com diferença máxima de temperatura do ar entre eles de 0,61°C. Indicando o melhor resultado dentre os modelos analisados, porém, apesar de ter a menor porcentagem de horas com temperaturas do ar acima das encontradas no modelo de referência, o aumento da área efetiva para ventilação em 40% da área do piso conjugado com o acréscimo da proteção solar não proporcionou redução na temperatura interna do dormitório 02 quando exposto a orientação Sul na cidade de Salvador, uma vez que 71.4% das horas simuladas, 6256 horas/ano, estão acima do limite superior de conforto térmico, causando condições de desconforto térmico por calor.

4.5.5. Rio de Janeiro – RJ

O Gráfico 9 a seguir apresenta as variações do comportamento térmico anual no interior do dormitório 02 nos **quatro modelos analisados** expostos à **orientação Norte**. O **modelo de referência** possui 5674 horas das 8760 simuladas com temperaturas do ar internas resultantes acima do limite de conforto sugerido para a cidade de Salvador, totalizando 64.7% de horas/ano desconfortáveis por calor.

Gráfico 9 – Comparação anual das temperaturas do ar e limite de conforto para a cidade do Rio de Janeiro – RJ no dormitório 02 exposto à orientação Norte.



Limite de conforto para a orientação Norte utilizando a temperatura do ar. Fonte: Simulações realizadas no programa computacional Desing Builder (DESIGNBUILDER SOFTWARE LTD, 2010).

O **modelo modificado 01** obteve 69% de suas horas de temperaturas do ar internas resultantes acima do limite superior de conforto, totalizando 6045 horas das 8760 simuladas em desconforto por calor e o pior desempenho em relação ao modelo de referência, com 1,94°C de diferença máxima entre eles, indicando que o aumento da área efetiva para ventilação em 15% da área do piso não proporcionou

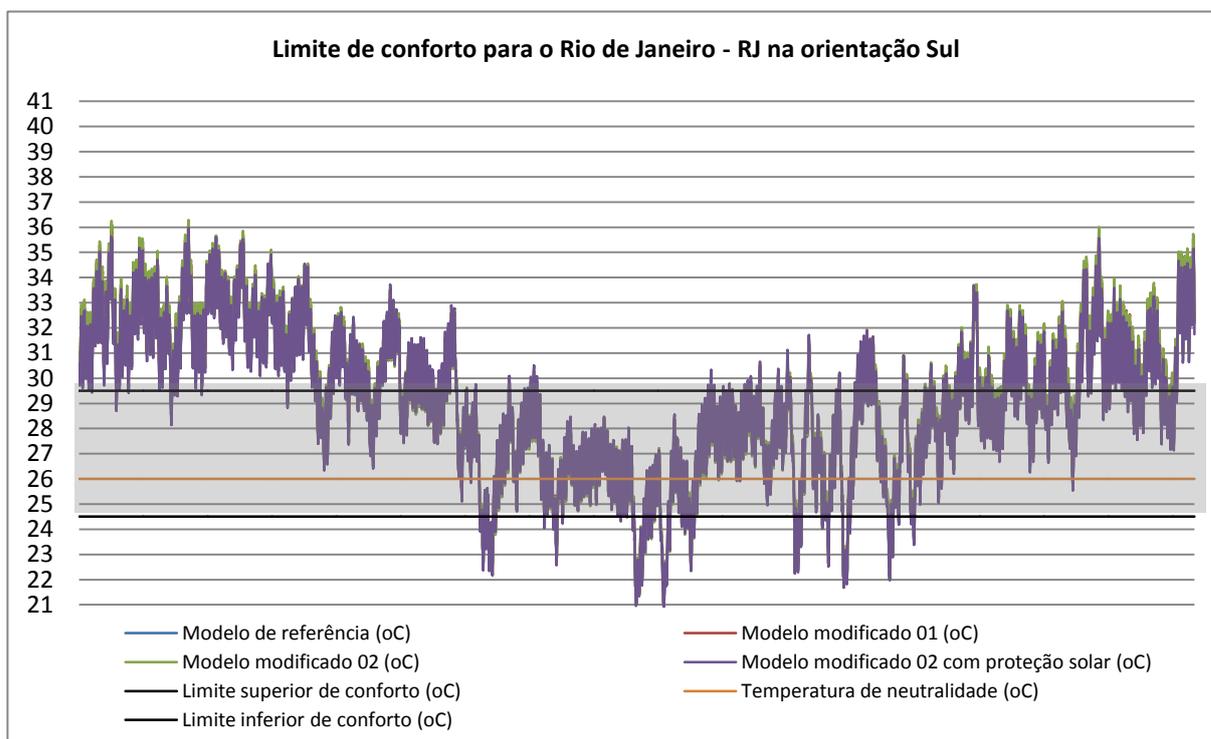
redução na temperatura interna do dormitório 02 quando exposto a orientação Norte, uma vez que, das 8760 horas analisadas, o modelo modificado 01 atingiu temperaturas do ar internas resultantes acima do modelo de referência em 8683 delas, compreendendo 99% das horas simuladas.

O **modelo modificado 02** resultou em temperaturas do ar internas resultantes com diferença máxima entre ele e o modelo de referência de 3,03°C, máxima diferença encontrada entre os demais modelos e o modelo de referência, indicando que o aumento da área efetiva para ventilação em 40% da área do piso não proporcionou redução na temperatura interna do dormitório 02 quando exposto a orientação Norte na cidade do Rio de Janeiro, uma vez que, das 8760 horas analisadas, 8343, totalizando 95.2% das horas simuladas, encontram-se mais elevadas que o modelo de referência e 70.2% das horas com temperatura do ar interna resultante acima do limite superior de conforto térmico sugerido, totalizando 6156 horas/ano desconfortáveis por calor.

O **modelo modificado 02 com proteção solar** atingiu 8.2% das horas analisadas temperaturas do ar internas resultantes acima do modelo de referência, totalizando das 8670 analisadas, apenas 727 horas/ano, com diferença máxima de temperatura do ar entre eles de 0,44°C, culminando no melhor resultado dentre os modelos analisados. Porém, apesar de ter a menor porcentagem de horas com temperaturas do ar acima das encontradas no modelo de referência, o aumento da área efetiva para ventilação em 40% da área do piso conjugado com o acréscimo da proteção solar não proporcionou redução na temperatura interna do dormitório 02 quando exposto a orientação Norte na cidade do Rio de Janeiro, uma vez que 57.9% das horas simuladas, 5077 horas/ano, estão acima do limite superior de conforto térmico, causando condições de desconforto térmico por calor.

O gráfico a seguir (Gráfico 10) apresenta as variações do comportamento térmico no interior do dormitório 02 nos **três modelos analisados** expostos à **orientação Sul** na cidade do Rio de Janeiro. O **modelo de referência** possui 3984 horas das 8760 simuladas com temperaturas do ar internas resultantes acima do limite de conforto sugerido para a cidade, totalizando 45.4% de horas/ano desconfortáveis por calor.

Gráfico 10 – Comparação anual das temperaturas do ar e limite de conforto para a cidade do Rio de Janeiro – RJ no dormitório 02 exposto à orientação Sul.



Limite de conforto para a orientação Sul utilizando a temperatura do ar. Fonte: Simulações realizadas no programa computacional Desing Builder (DESIGNBUILDER SOFTWARE LTD, 2010).

O **modelo modificado 01** obteve 47.3% de suas horas de temperaturas do ar internas resultantes acima do limite superior de conforto, totalizando 4151 horas das 8760 simuladas em desconforto por calor e o pior desempenho em relação ao modelo de referência, com 0,63°C de diferença máxima entre eles, apesar de ter sido o modelo com temperaturas mais próximas, indicando que o aumento da área efetiva para ventilação em 15% da área do piso não proporcionou redução na temperatura interna do dormitório 02 quando exposto a orientação Norte, uma vez que, das 8760 horas analisadas, o modelo modificado 01 atingiu temperaturas do ar internas resultantes acima do modelo de referência em 8053 delas, compreendendo 92% das horas simuladas.

O **modelo modificado 02** resultou em temperaturas do ar internas resultantes com diferença máxima entre ele e o modelo de referência de 0,87°C, máxima diferença encontrada entre os demais modelos e o modelo de referência, indicando que o aumento da área efetiva para ventilação em 40% da área do piso não proporcionou redução na temperatura interna do dormitório 02 quando exposto

a orientação Norte na cidade do Rio de Janeiro, uma vez que, das 8760 horas analisadas, 7339, totalizando 83.7% das horas simuladas, encontram-se mais elevadas que o modelo de referência e 48.1% das horas com temperatura do ar interna resultante acima do limite superior de conforto térmico sugerido, totalizando 4215 horas/ano desconfortáveis por calor.

O **modelo modificado 02 com proteção solar** atingiu 55.2% das horas analisadas temperaturas do ar internas resultantes acima do modelo de referência, totalizando das 8670 analisadas, 4842 horas/ano, com diferença máxima de temperatura do ar entre eles de 1,05°C, culminando no melhor resultado dentre os modelos analisados, apesar de ter a maior diferença de temperatura do ar em relação ao modelo de referência. Porém, o aumento da área efetiva para ventilação em 40% da área do piso conjugado com o acréscimo da proteção solar não proporcionou redução na temperatura interna do dormitório 02 quando exposto a orientação Sul na cidade do Rio de Janeiro, uma vez que 46.4% das horas simuladas, 4073 horas/ano, estão acima do limite superior de conforto térmico, causando condições de desconforto térmico por calor.

4.6. DISCUSSÃO GERAL DOS RESULTADOS

As simulações computacionais de insolação das fachadas (norte, leste, sul e oeste) evidenciaram a necessidade do uso de proteção solar em horários críticos para cada uma das cinco capitais. Já que as simulações com os modelos com proteção solar resultaram em diminuição de temperatura do ar interna resultante. Tem-se como exemplo o solstício de inverno de Belém – PA às 15h00min na fachada norte, de Fortaleza – CE às 09h00min na fachada leste e no solstício de verão em Maceió – AL e Salvador – BA às 15h00min na fachada sul. A partir da avaliação do sombreamento das fachadas e das cartas solares nos dias e horários estudados, observou-se a necessidade da proteção solar adequada de acordo com o quadro-síntese a seguir (Quadro 41):

Quadro 41 – Resumo da avaliação do sombreamento das fachadas.

Cidade	Orientação	Protetores
Belém	Norte	Horizontal – ângulo vertical frontal 50° Misto – ângulo vertical frontal 30° ângulo horizontal lateral direito e esquerdo 30°
	Leste	Horizontal infinito – ângulo vertical frontal 60° Horizontal finito - ângulo vertical frontal 60° Ângulo vertical lateral direito e esquerdo 35°
	Sul	Horizontal – ângulo vertical frontal 50° Misto – ângulo vertical frontal 30° ângulo horizontal lateral direito e esquerdo 35°
	Oeste	Horizontal infinito – ângulo vertical frontal 80° Horizontal finito - ângulo vertical frontal 80° Ângulo vertical lateral direito e esquerdo 60°
Fortaleza	Norte	Horizontal – ângulo vertical frontal 60° Misto – ângulo vertical frontal 30° ângulo horizontal lateral direito e esquerdo 40°
	Leste	Horizontal infinito – ângulo vertical frontal 60° Horizontal finito - ângulo vertical frontal 60° Ângulo vertical lateral direito e esquerdo 40°
	Sul	Horizontal – ângulo vertical frontal 45° Misto – ângulo vertical frontal 30° ângulo horizontal lateral direito e esquerdo 25°
	Oeste	Horizontal infinito – ângulo vertical frontal 82° Horizontal finito - ângulo vertical frontal 82° Ângulo vertical lateral direito e esquerdo 55°
Maceió	Norte	Horizontal – ângulo vertical frontal 60° Misto – ângulo vertical frontal 35° ângulo horizontal lateral direito e esquerdo 47°
	Leste	Horizontal infinito – ângulo vertical frontal 57° Horizontal finito - ângulo vertical frontal 57° Ângulo vertical lateral direito 30° e esquerdo 45°
	Sul	Horizontal – ângulo vertical frontal 45°

Maceió	Sul	Misto – ângulo vertical frontal 18° ângulo horizontal lateral direito e esquerdo 22°
	Oeste	Horizontal infinito – ângulo vertical frontal 75° Horizontal finito - ângulo vertical frontal 75° Ângulo vertical lateral direito 50° e esquerdo 70°
Salvador	Norte	Horizontal – ângulo vertical frontal 60° Misto – ângulo vertical frontal 40° ângulo horizontal lateral direito e esquerdo 43°
	Leste	Horizontal infinito – ângulo vertical frontal 65° Horizontal finito - ângulo vertical frontal 65° Ângulo vertical lateral direito 25° e esquerdo 50°
	Sul	Horizontal – ângulo vertical frontal 55° Misto – ângulo vertical frontal 15° ângulo horizontal lateral direito e esquerdo 22°
	Oeste	Horizontal infinito – ângulo vertical frontal 80° Horizontal finito - ângulo vertical frontal 80° Ângulo vertical lateral direito 70° e esquerdo 50°
Rio de Janeiro	Norte	Horizontal – ângulo vertical frontal 70° Misto – ângulo vertical frontal 50° ângulo horizontal lateral direito e esquerdo 50°
	Leste	Horizontal infinito – ângulo vertical frontal 55° Horizontal finito - ângulo vertical frontal 55° Ângulo vertical lateral direito 20° e esquerdo 55°
	Sul	Horizontal – ângulo vertical frontal 40° Vertical – ângulo horizontal lateral direito e esquerdo 22°
	Oeste	Horizontal infinito – ângulo vertical frontal 80° Horizontal finito - ângulo vertical frontal 80° Ângulo vertical lateral direito 70° e esquerdo 60°

Quanto à simulação computacional no Design Builder, para a cidade de **Belém – PA**, para as orientações Norte e Sul analisadas, não houve nenhum modelo que se encontrasse integralmente dentro dos limites de conforto térmico. Dentre as situações estudadas, o modelo modificado 02 com o uso de proteção solar foi o que mais se aproximou do limite superior de conforto. Evidenciou-se para os casos estudados que, para Belém – PA, quanto maior a área da abertura efetiva para ventilação e a adição de proteção solar, melhor foi o resultado alcançado do desempenho térmico interno da habitação.

Para a cidade de **Fortaleza – CE** as simulações computacionais indicaram que, para as orientações Norte e Sul nenhum modelo estudado obteve resultados integralmente dentro dos limites de conforto térmico para a cidade. Assim como para Belém – PA, o modelo modificado 02 com o uso de proteção solar foi o que mais se aproximou do limite superior de conforto, apesar de possuir apenas 5% de horas confortáveis.

Para a cidade de **Maceió – AL**, nas orientações Norte e Sul, o modelo de referência mostrou mais horas de conforto que os demais modelos para o dormitório 2 analisado. Evidenciou-se para os casos estudados que com o aumento da área efetiva para ventilação houve uma direta diminuição da temperatura do ar interna resultante nos modelos modificado 01 e modificado 02 com proteção solar simulados.

Para a cidade de **Salvador – BA**, na orientação Norte, o modelo modificado 02 com proteção solar mostrou-se com mais horas dentro dos limites de conforto térmico para o ambiente simulado, constatando que o aumento da área efetiva para ventilação em 40% da área do piso do ambiente e a adição de proteção solar consegue amenizar o desconforto térmico interno. Por outro lado, para a orientação Sul o modelo de referência mostrou-se com mais horas confortáveis que os demais.

A cidade do **Rio de Janeiro – RJ** seguiu a mesma tendência encontrada na cidade de Salvador – BA. Na orientação Norte, o modelo modificado 02 com proteção solar resultou em mais horas com temperaturas do ar internas resultantes em situação de conforto térmico no ambiente simulado, enquanto que para a orientação Sul o modelo de referência mostrou-se mais confortável termicamente, obtendo mais horas dentro do limite de conforto sugerido.

Quanto aos resultados das simulações do comportamento térmico dos modelos, estes apontaram que, apesar de pertencerem a uma mesma zona bioclimática, as estratégias de projeto nas cidades analisadas têm especificidades importantes para se alcançar um desempenho térmico favorável no ambiente interno. Demonstraram, ainda, a importância da continuação da discussão das normas de desempenho térmico vigentes. Salienta-se que para Belém e Fortaleza o modelo modificado 02 com proteção solar resultou em temperaturas do ar internas resultantes mais amenas que os demais modelos nas duas orientações estudadas, o mesmo ocorrendo para Salvador e Rio de Janeiro na orientação Norte. O modelo de referência resultou em temperaturas do ar internas resultantes mais amenas em Maceió nas duas orientações estudadas e nas cidades de Salvador e Rio de Janeiro na orientação Sul.

Ao se comparar as temperaturas do ar internas resultantes no ambiente estudado (dormitório 02), nas diversas capitais, constata-se que os modelos de

referência e o modelo modificado 02 com proteção solar apresentaram melhores resultados do que o modelo modificado 01 e modificado 02. Levando-se a discutir, por um lado, a cautela que se deve ter em simulações computacionais, verificando-se suas limitações frente a dados de entrada e sensibilidade a diversos parâmetros, por outro lado, (e já que os resultados foram bastante evidentes para as diversas simulações efetuadas), evidenciando a importância do sombreamento de grandes aberturas para ventilação, como preconiza a NBR 15220-3 (ABNT, 2005) para a zona bioclimática em questão. Já que sem o devido sombreamento pode significar ganho térmico para o interior das edificações e conseqüentemente, desconforto térmico para seus usuários, uma vez que nenhum dos modelos analisados compreendeu uma situação plena de conforto térmico durante todo o ano.

Embora esses resultados sejam limitados a simulações específicas, enfatizaram, na maioria dos casos, a necessidade de se observar diferentes alternativas projetuais bioclimáticas adequadas aos diferentes perfis climáticos aqui analisados.

5. CONCLUSÕES

Esta pesquisa analisou o desempenho térmico de unidades habitacionais submetidas a cinco capitais do contexto climático da Zona Bioclimática 8 – Belém, Fortaleza, Maceió, Salvador e Rio de Janeiro –, e a partir de um modelo de referência, três modelos foram criados com base nas normas técnicas vigentes NBR 15575 (ABNT, 2010) e NBR 15220-3 (ANBT, 2005), visando o conforto térmico de seus usuários. Considera-se que a metodologia indicada para o procedimento do trabalho mostrou-se satisfatória, alcançando os objetivos propostos.

Quanto aos resultados, de uma maneira geral, observou-se que o aumento das áreas das aberturas efetivas para ventilação em conformidade com as normas NBR 15220-3 (ABNT, 2005) e NBR 15575 (ABNT, 2010) significou redução de temperatura do ar interno resultante nos modelos simulados, embora nenhum dos modelos simulados tenha apresentado 100% de horas confortáveis. Deve-se salientar a importância da ventilação natural, particularmente para climas quentes e úmidos, como estratégia fundamental de conforto térmico, juntamente com o sombreamento adequado das aberturas, como foi observada nas simulações computacionais no modelo modificado 02 com proteção solar, que obteve significativa redução de temperatura do ar interna em Belém – PA, Fortaleza – CE, Salvador – BA e Rio de Janeiro – RJ em relação aos demais modelos.

Quanto a esse aspecto, constatou-se que o programa computacional utilizado considerou, na maioria dos casos simulados, aumentos de aberturas sem proteção solar como aumento de carga térmica no ambiente interno. Nesse sentido, sabe-se que o *Design Builder* constitui uma ferramenta de avaliação de desempenho térmico na qual podem ser testadas diversas opções de materiais construtivos, de envoltória e arranjos projetuais. Essa ferramenta vem sendo amplamente utilizada em pesquisas na área. Entretanto, os resultados das simulações devem ser analisados com critério, tendo em vista a quantidade de dados inseridos.

Vale destacar, por fim, que a pesquisa não exauriu o tema e o objeto de estudo em questão, podendo ser frutos de pesquisas complementares a este trabalho:

- Simulações computacionais dos modelos aqui analisados nas demais orientações geográficas para a avaliação do desempenho termoenergético;
- Simulações computacionais com a adição de proteção solar adequada a cada cidade e orientação;
- Avaliação do comportamento térmico do ambiente interno com diferentes absorptâncias e transmitâncias térmicas;
- Medições *in loco* em unidades habitacionais das cidades estudadas a fim de confrontá-los com simulações computacionais.

Desta forma, crê-se que os resultados aqui obtidos reforçam a importância de se projetar de acordo com os critérios climáticos de cada cidade, a fim de melhorar o desempenho térmico da habitação e atentar para o uso correto da proteção solar, especialmente em unidades de programas habitacionais nos quais a utilização de meios artificiais de climatização é, muitas vezes, inviável para os seus usuários na maior parte do tempo de uso dos ambientes.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – **NBR 15220-1/2/3. Desempenho térmico de edificações.** Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

_____ – **NBR 15575. Edifícios habitacionais até cinco pavimentos – desempenho. Parte 4: Sistemas de vedações verticais externas e internas.** Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ALMEIDA, Isis; PEREGRINO, Paulo. **Habitações populares: O dimensionamento dos espaços internos x o mobiliário disponível no mercado local: O caso do conjunto habitacional Mangabeira VII – João Pessoa / PB.** In: X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído – X ENCAC e VI ELACAC. Natal, Rio Grande do Norte, 2009.

ALVES, Silvana Aparecida; SANTOS, Andréia Oliveira dos. **Análise de implantação em conjunto habitacional – Estudo de caso: Nobuji-Nagasawa.** In: VIII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído - ENCAC. IV Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído - ELACAC. 5-7 outubro, 2005, Maceió, Alagoas.

AMORIM, Cláudia Naves David. **Desempenho térmico de edificações e simulação computacional no contexto da arquitetura bioclimática. Estudos de casos na região de Brasília.** Universidade Federal de Brasília - UnB. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Dissertação de Mestrado. Brasília, Distrito Federal, 1998.

ASSIS, E. S. de. **Método integrado de análise climática para arquitetura aplicado à cidade de Belo Horizonte, MG.** Anais... São Pedro, SP. VI Encontro Nacional e III Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído. 8 f. 2001.

ASTE, N.; ANGELOTTI, A.; BUZZETTI, M. **The influence of the external walls thermal inertia on the energy performance of well insulated buildings.** Energy and Buildings. V. 41, p. 1181–1187, 2009.

BARBOSA, Miriam Jeronimo. **Uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares.** Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas. Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Produção. Tese de Doutorado. Florianópolis, Santa Catarina, 1997.

BARROS; Lia A. F. **Apropriação de espaço de unidade habitacional de interesse social.** In: VII Encontro Nacional e III Conferência Latino-Americana sobre Conforto e Desempenho Energético – VII ENCAC e III COTEDI. Curitiba, Paraná, 5 a 7 de novembro, 2003.

BITTENCOURT, Leonardo. **Uso das cartas solares: diretrizes para arquitetos.** 4 edição, revisada e ampliada. EDUFAL. 109p. Maceió, Alagoas, 2004.

BOUCHLAGHEM, N. **Optimising the design of building envelopes for thermal performance.** Automation in Construction. V. 10, p. 101–112, 2000.

BRAGA, Darja; AMORIM, Claudia. **Tendências estilísticas da arquitetura contemporânea brasileira e bioclimatismo.** In: X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído – X ENCAC e VI ELACAC. Natal, Rio Grande do Norte, 2009.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES. SECRETARIA NACIONAL DE HABITAÇÃO. **Déficit habitacional no Brasil 2007.** 129p. Brasília, 2009.

_____. **Déficit Habitacional 2008.** Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/noticias/deficit-habitacional-brasileiro-e-de-5-6-milhoes>. Acesso em 07 de setembro de 2010.

_____. **Política Nacional de Habitação.** Novembro de 2004.

_____. **MCidades amplia prazos do programa de assistência técnica e produção social da moradia.** Disponível em: < <http://www.cidades.gov.br/ministerio-das-cidades>>. Acesso em: 26 de dezembro de 2009.

_____. MINISTÉRIO DAS CIDADES; MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA; ELETROBRÁS; PROCEL. **Eficiência Energética em Habitações de Interesse Social.** Dezembro de 2005.

_____. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Dep. Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas 1961-1990.** Brasília, DNMET, 1992. 84p.

_____. Constituição, 1988. **Constituição da República Federativa do Brasil, 1988.** São Paulo, Ed. Revista dos Tribunais, 1989.

BRITO, Adriana Camargo de. **Recomendações para projetos habitacionais com pré-fabricados leves de concreto visando otimização do desempenho térmico.** Dissertação (Mestrado em Habitação: Planejamento e Tecnologia) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Área de concentração: Tecnologia em Construção de Edifícios. São Paulo, 2007.

BUSTOS ROMERO, Marta Adriana. **Bioclimatismo: sustentabilidade e senso do lugar.** In: VII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído e III Conferência Latino-Americana sobre Conforto e Desempenho Energético de Edificações – VII ENCAC e III COTEDI. Curitiba, Paraná, 2003.

CABRITA, A. M. R. **Definição da qualidade da habitação de forma acessível a seu adquirente.** In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE QUALIDADE NA CONSTRUÇÃO, 2., Lisboa, 1990. Lisboa: LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1990. p. 145-156.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Programa de subsídios à habitação de interesse social – PSH.** Disponível em: <http://www1.caixa.gov.br/gov/gov_social/estadual/programas_habitacao/psh/saiba_mais.asp>. Acesso em: 08 de março de 2010.

_____. **Cartilha do PAR. Módulo arrendamento. Programa de Arrendamento Residencial.** 2008. Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/habitacao/aquisicao_residencial/arrendamento/downloads/legislacao_par.asp>. Acesso em: 16 de março de 2010.

CHICHIERCHIO, Luiz Carlos. **Enfoque bioclimático da arquitetura e dos assentamentos humanos – fundamentos do controle ambiental.** In: I Seminário Nacional de Arquitetura nos trópicos. Fundação Joaquim Nabuco. Recife, Pernambuco, 1985.

CUNHA, Leonardo; TINÔCO, Marcelo; PEDRINI, Aldomar. **Anteprojeto de uma habitação de interesse social segundo as recomendações de conforto térmico.** In: IX Encontro Nacional e V Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído – IX ENCAC e V ELACAC. Ouro Preto, Minas Gerais, 2007.

CURCIO, Daniela da Rosa; SILVA, Antônio César Silveira Baptista. **Análise qualitativa do desempenho térmico de empreendimento de habitação de interesse social na cidade de Pelotas – RS.** In: X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído – X ENCAC e VI ELACAC. Natal, Rio Grande do Norte, 2009.

DALTRO FILHO, José; SALES, Ângela Teresa Costa. **Proposta de um modelo para avaliação de salubridade de habitações.** In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Campo Grande, Mato Grosso do Sul, 2005.

DESIGNBUILDER SOFTWARE LTD. **DesignBuilder.** 2005-2010.

_____ **Getting Started: Tutorial 1: The Basics of Creating a Building Model.** 2005-2010.

DUTRA, Luciano; YANNAS, Simos. **Análise de processos de projeto bioclimático.** In: XI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – XI ENTAC. Florianópolis, Santa Catarina. 2006.

EVANS, M.; SCHILLER, S. de. **Diseno Bioambiental y Arquitectura Solar.** Serie Ediciones Previas, Facultad de Arquitectura, Buenos Aires, 1991.187 pp. Ilust.
FANGER, O.P. **Thermal Comfort.** New York: McGraw-Hill Books Company, 1970.

FILIPPÍN, C.; BEASCOCHEA, A. **Energy-efficient housing for low-income students in a highly variable environment of central Argentina.** Renewable Energy, v. 32, p. 1–20. Scienc Direct, 2007.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico.** 7ª Edição, São Paulo, Studio Nobel, 2003.

FORMOSO, Carlos Torres (Coord.). **Gestão de empreendimentos habitacionais de interesse social: modelo integrado de gestão de projeto e da produção para a redução de perdas – GEHIS.** Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – NORIE / UFRGS. Relatório de pesquisa. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, 2006.

GIVONI, B. **Comfort climate analysis and building design guidelines.** Energy and Buildings, v.18, n.1, p. 11 – 23, 1992.

GOOGLE. **Sketchup Pro 7.** 2009. Disponível em: www.sketchup.com. Acesso em: 2009.

GOULART, Solange V. G.; LAMBERTS, Roberto; FIRMINO, Samanta. **Dados Climáticos para Projeto e Avaliação Energética de Edificações para 14 Cidades Brasileiras.** 2ª edição. Florianópolis: Núcleo de Pesquisa em Construção/UFSC, 1998. 345 p.: il.

GRIGOLETTI, Giane; ROTTA, Renata; MULLER, Sânila. **Avaliação de desempenho térmico de edificação de interesse social unifamiliar em Santa Maria – RS.** In: X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído – X ENCAC e VI ELACAC. Natal, Rio Grande do Norte, 2009.

HABITARE. **Pesquisa avalia e gera recomendações para o Programa Entrada da Cidade, de Porto Alegre.** Revista Habitare, ano 9, outubro de 2009. Disponível em: <http://www.habitare.org.br/ConteudoGet.aspx?CD_CONTEUDO=532>. Acesso em: 30 de novembro de 2009.

KOMENO, Márcio Hissashi; SPOSTO, Rosa Maria; KRÜGER, Eduardo L. **Avaliação do desempenho térmico de sistemas construtivos para habitação de interesse social por meio de simulação para o clima de Brasília.** In: VII Encontro Nacional e III Conferência Latino-Americana sobre Conforto e Desempenho Energético – VII ENCAC e III COTEDI. Curitiba, Paraná, 5 a 7 de novembro, 2003.

KOWALTOWSKI, Doris C.C.K.; LABAKI, Lucila C. **A arquitetura em uso: proposta para avaliação de desempenho de uma edificação habitacional.** In: IX Encontro Nacional e V Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído – IX ENCAC e V ELACAC. Ouro Preto, Minas Gerais, 2007.

KRÜGER, E; GIVONI, B. **Predicting thermal performance in occupied dwellings.** Energy and Buildings. V. 36, p. 301-307, 2004.

KUCHENBECKER, L. C.; SZÜCS C. P.; PEREIRA, F. O. R.. **Habitabilidade e conforto ambiental no projeto da habitação de interesse social.** In: V Encontro Nacional e ii Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído – V ENCAC E II ELACAC. Fortaleza, Ceará, 1999.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES, LABEEE. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil. **Analysis Sol-ar.** Versão 6.2. 2009. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/software/analysis-sol-ar>>. Acesso: 2 de junho de 2011.

LAGO FRANCISCO, Maíra do.; FRICKE, Glacir Teresinha. **Metodologia de avaliação de desempenho térmico de protótipos de unidades de habitacionais de interesse social.** In: VIII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído - ENCAC. IV Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído - ELACAC. 5-7 outubro, 2005, Maceió, Alagoas.

LAROCA, Christine; KRÜGER, Eduardo L.; MATOS, Jorge M. de. **Avaliação do desempenho de habitações de interesse social utilizando madeira de reflorestamento: diretrizes projetuais.** In: VIII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído - ENCAC. IV Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído - ELACAC. 5-7 outubro, 2005, Maceió, Alagoas.

LICHTENBERG, A. R. **Alta Qualidade Ambiental Aplicada ao projeto de Reabilitação Residencial Urbana em Clima Tropical Quente Úmido: A EcoHouse Urca.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2006.

LIMA, Raffaella Germano de. **A influência do sombreamento e absorção da envoltória no desempenho termo-energético de edifícios residenciais, na cidade de Maceió-AL.** 2010. 178f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, UFAL, Maceió.

LOURA, Rejane Magiag; ASSIS, Eleonora Sad de; BASTOS, Leopoldo E. G. **Análise comparativa entre os resultados de desempenho térmico de envoltórias de edifício residencial gerados por diferentes normas brasileiras.** In: XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e VII Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído – VII ENCAC e VII ELACAC. Búzios, Rio de Janeiro, 2011.

LUCAS, Francisco; SALABERRY, Jeferson; TERRES, Marcelo; PÖTTER, Marisa; CUNHA, Eduardo da; SILVA, Antônio César Baptista da. **Avaliação do desempenho térmico de habitação de interesse social em Pelotas/RS: Simulação computacional de diferentes sistemas de fechamentos verticais.** In: XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e VII Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído – VII ENCAC e VII ELACAC. Búzios, Rio de Janeiro, 2011.

MACIEL, Alexandra Albuquerque. **Integração de conceitos bioclimáticos ao projeto arquitetônico.** Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil - PPGEC. Tese de Doutorado. Florianópolis, Santa Catarina, 2006.

_____. **Projeto bioclimático em Brasília: Estudo de caso em edifício de escritórios.** Florianópolis, 2002. 138f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Curso de Pós- Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

MARAGNO, Gogliardo Vieira. **Adequação bioclimática na arquitetura de Mato Grosso do Sul**. In: VII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído e III Conferência Latino-Americana sobre Conforto e Desempenho Energético de Edificações – VII ENCAC e III COTEDI. Curitiba, Paraná, 2003. p. 136-143.

MARROQUIM, Flávia Maria Guimarães; BARBIRATO, Gianna Melo. **Análise dimensional de unidades habitacionais em Maceió – Alagoas**. In: X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído – X ENCAC e VI ELACAC. Natal, Rio Grande do Norte, 2009.

MENDELEZ, Adilson. **Uma nova postura para habitação de interesse social**. Arcoweb. Arquitetura, mat. 1078, 2009. Disponível em: <<http://www.arcoweb.com.br/arquitetura/boldarini-arquitetura-e-urbanismo-habitacao-social-22-02-2010.html>>. Acesso em: 04 de março de 2010.

MENEZES, Milton Serpa. **Avaliação do desempenho térmico de habitações sociais de Passo Fundo – RS**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Passo Fundo. Faculdade de Engenharia e Arquitetura. Programa de Pós-Graduação em Engenharia. Área de concentração: Infra-Estrutura e Meio Ambiente. Passo Fundo, Rio Grande do Sul, 2006.

MONTE-MÓR, Roberto Luís (2003). **Outras fronteiras: novas especialidades na urbanização brasileira**. In: CASTRIOTA, Leonardo Barci (Org.), Urbanização brasileira, redescobertas, Editora C/Arte, Belo Horizonte, pp.260-271.

NEGREIROS, Bianca. **Avaliação de desempenho térmico de uma habitação de interesse social segundo Design Builder**. In: XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – XII ENTAC. Fortaleza, Ceará, 2008.

OLIVEIRA, Ângela Santana. **Análise de desempenho térmico e consumo de energia em residências na cidade de Cuiabá / MT – Estudo de caso**. 2007. 109f. Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT. Programa de Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente. Dissertação de Mestrado. Cuiabá, Mato Grosso, 2007.

OLIVEIRA, Kelly. UOL. Notícias, Política. **Programa Minha Casa, Minha Vida fecha ano longe da meta de 1 milhão de unidades**. Disponível em: <<http://noticias.uol.com.br/politica/2009/12/24/ult5773u3492.jhtm>>. Acesso em: 26 de dezembro de 2009.

OLIVEIRA, Liader S.; SILVA, Antônio César S. B. da; CUNHA, Eduardo G. da. **Análise das condições de conforto térmico em habitações de interesse social**

em Pelotas/RS. In: XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e VII Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído – VII ENCAC e VII ELACAC. Búzios, Rio de Janeiro, 2011.

PALERMO, Carolina; MORAIS, Gabriela; COSTA, Marianne; FELIPE, Carolina. **Habitação social: uma questão projetual.** In: IV Colóquio de Pesquisas em Habitação “*Coordenação Modular e Mutabilidade*”, 14 e 15 de agosto de 2007, na Escola de Arquitetura da UFMG. Belo Horizonte, Minas Gerais, 2007.

PASSOS, Isabela Cristina da Silva. **Clima e arquitetura habitacional em Alagoas: estratégias bioclimáticas para Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar.** Dissertação (mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Dinâmicas do Espaço Habitado) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2009.

PEDRINI, Aldomar; SZOKOLAY, Steven. **Recomendações para o desenvolvimento de uma ferramenta de suporte às primeiras decisões projetuais visando ao desempenho energético de edificações de escritório em clima quente.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 39-54, 2005. ANTAC - Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.

PEETERS, Leen; DEDEAR, Richard; HENSEN, Jan; D’HAESELEER. **Thermal comfort in residential buildings: Comfort values and scales for building energy simulation.** Applied Energy 86 (2009) 772–780. ScienceDirect. Disponível em: www.elsevier.com/locate/apenergy. Acesso em: 18 de março de 2011.

PEREIRA, I. M.; ASSIS, E. S. de. **Avaliação de modelos de índices adaptativos para uso no projeto arquitetônico bioclimático.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 10, n. 1, p. 31-51, jan./mar. 2010. ANTAC - Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.

PIETROBON, Cláudio Emanuel; TOLEDO, Luis Marcio Arnaut de; PIETROBON, Carmen Lucia da Rocha. **A simulação computacional do desempenho térmico no contexto da arquitetura bioclimática.** Brasil – São Paulo, SP. 1995. p. 325-339. In: Encontro Nacional de Modelos de Simulação de Ambientes, São Paulo, 1995. Artigo técnico.

PINA, Sílvia Mikami Gonçalves; CHEQUE JUNIOR, Jayme. **Qualidade urbana de áreas habitacionais sociais: proposta para o desenho das cidades sustentáveis.** In: III Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento, Urbano, Regional, Integrado e Sustentável – PLURIS, 1 a 3 de outubro, Santos, São Paulo, 2008.

ROCHA, Ana Paula de Almeida; ASSIS, Eleonora Sad de; GONÇALVES, Willi de Barros. **Zoneamento bioclimático do Estado de Minas Gerais: Aperfeiçoamento dos resultados.** In: X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído – X ENCAC e VI ELACAC. Natal, Rio Grande do Norte, 2009.

ROSS, Jurandyr L. Sanches. **Geografia do Brasil.** 5 edição revisada e ampliada. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2005.

ROSSI, Francine A.; DUMKE, Eliane; KRÜGER, Eduardo L. **Atualização do ano climático de referência para Curitiba.** In: X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído – X ENCAC e VI ELACAC. Natal, Rio Grande do Norte, 2009.

RUAS, A. C. **Sistematização da avaliação de conforto térmico em ambientes edificadas e sua aplicação num software.** 2002. 182 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas, 2002.

SANTOS, Wellington. **AutoCAD 2009 – Básico 2D.** Fast Graphics CAD Center, 2010. Disponível em: www.autocadcurso.com.br. Acesso: 30 de maio de 2011.

SCHMID, Aloísio Leoni. **A idéia de conforto: reflexões sobre o ambiente construído.** Curitiba: Pacto Ambiental, 2005. 338 p.

SILVA NETO, Salomão. **A certificação profissional nos programas de qualidade da construção habitacional: desafios nas construções de interesse social.** 83p. Dissertação (Mestrado em Habitação: Planejamento e Tecnologia) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Área de concentração: Tecnologia em construção de edifícios. São Paulo, 2008.

SILVEIRA, Ana Lucia R. C. da. **Avaliação do Desempenho Térmico de Edifícios Habitacionais na Região Tropical Sub-úmida do Brasil.** In: VIII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído - ENCAC. IV Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído - ELACAC. 5-7 outubro, 2005, Maceió, Alagoas.

SOARES, Antonio Mateus de Carvalho. **O trágico problema da habitação popular brasileira e as esperanças com o estatuto da cidade.** In: II CONGRESSO BRASILEIRO E 1 IBEROAMERICANO HABITAÇÃO SOCIAL – CIÊNCIA E TECNOLOGIA. CIHAB, Florianópolis, Santa Catarina, 2006.

SOZER, Haticer. **Improving energy efficiency through the design of the building envelope**. Building and Environment, v. 45, p. 2581-2593, 2010.

SPANENBERG, Mariane Gampert. **Análise de desempenho térmico, acústico e lumínico em habitação de interesse social: Estudos de caso em Marau – RS**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

SPOSTO, R. M. **Painéis de argamassa armada compostos com isolantes térmicos para vedos da habitação de baixo custo em São Paulo**. Tese de doutorado, FAU-USP, São Paulo, 1995.

TORRES, Simone C. **Arranjos Construtivos Urbanos: um estudo sobre a influência da configuração de conjuntos habitacionais verticais na qualidade térmica de edificações em Maceió – AL**. Maceió. Dissertação (Mestrado em Arquitetura - Dinâmicas do Espaço Habitado). Universidade Federal de Alagoas, UFAL, Alagoas, 2006.

VASCONCELOS, Ana Cecilia Serpa Braga; LIMA, Marcondes Araújo. **Fatores de sustentabilidade na casa cearense**. In: X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído – X ENCAC e VI ELACAC. Natal, Rio Grande do Norte, 2009.

VAZQUEZ, Elaine Garrido; BRANDÃO, Maria da Glória de Souza; SILVA, Othon José de Castro. **Stephouse – Projeto de residência unifamiliar ecoeficiente**. In: X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído – X ENCAC e VI ELACAC. Natal, Rio Grande do Norte, 2009.

VENÂNCIO, Raoni; PEDRINI, Aldomar. **Modos projetuais de simulação térmica: Conceitos, definições e aplicação**. In: XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e VII Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído – VII ENCAC e VII ELACAC. Búzios, Rio de Janeiro, 2011.

VILLAS BOAS, Márcio. **Significado da arquitetura nos trópicos – Um enfoque bioclimático**. In: I Seminário Nacional de Arquitetura nos trópicos. Fundação Joaquim Nabuco. Recife, Pernambuco, 1985.

BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

ABIKO, A. K. **Introdução à gestão habitacional**. São Paulo, EPUSP, 1995. Texto técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, TT/PCC/12.

AL-SANEA, S.A. **Thermal performance of building roof elements**. Building and Environment. V. 37, p.665–75, 2003.

ALUCCI, M. P.; CARNEIRO, C. De m.; BARING, J. G. de A. **Implantação de conjuntos habitacionais. Recomendações para adequação climática e acústica**. 1986. Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. São Paulo, São Paulo.

ARAÚJO, Mara Rúbia de Oliveira. **Conforto térmico em salas de aula localizadas em clima quente e úmido: uma avaliação do limite inferior da zona de conforto**. Dissertação (mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Dinâmicas do Espaço Habitado) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2008.

BARBIRATO, Gianna Melo; LYRA, Roberto; FERNANDES, Emanuel Farias; BARBOSA, Ricardo Victor Rodrigues; OLIVEIRA, Thaísa C. F. S. de; TELES, Valéria Rodrigues. **Análise do clima urbano de Maceió-AL: comparações entre diversas escalas**. Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Rio de Janeiro, 2002, p. 628-634.

BATISTA, Juliana Oliveira. **A arquitetura e seu desempenho térmico no contexto do semi-árido alagoano: Estudos de caso em Santana do Ipanema – AL**. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – PósARQ. Dissertação de Mestrado. Florianópolis, Santa Catarina, 2006.

BLOM, Inge; ITARD, Laure; MEIJER, Arjen. **Environmental impact of dwellings in use: Maintenance of façade components**. Building and Environment, v. 45, p. 2526-2538, 2010.

CASA EFICIENTE. Disponível em: <<http://www.eletrosul.gov.br/casaeficiente/br/home/index.php>>. Acesso em: 20 de novembro de 2009.

CHENG, A.V.; Ng, E.; GIVONI, B. **Effect of envelope colour and thermal mass on indoor temperatures in hot humid climate**. Solar Energy. V. 78, p. 528–534, 2005.

CHUA, K. J.; CHOU, S. K. **Energy performance of residential buildings in Singapore**. Energy. v. 35, p. 667–678, 2010.

ELEY ASSOCIATES. **VisualDOE 3**. San Francisco, CA USA, 2000.

FARIA, Geraldo Majela Gaudêncio. **Iniciação à arte do Plano de Trabalho e do Projeto de Pesquisa**. Maceió, 2004.

FEIO, António. **Arquitetura bioclimática**. Instituto Politécnico do Porto, Porto, Portugal, 2006.

GATERELL, M. R.; MCEVOY, M. E.. **The impact of energy externalities on the cost effectiveness of energy efficiency measures applied to dwellings**. Energy and Buildings, v. 37, p. 1017–1027. 2005.

GIVONI, B. **Effectiveness of mass and night ventilation in lowering the indoor daytime temperatures. Part I: 1993 experimental periods**. Energy and Buildings. v. 28, p.25–32, 1998.

GRATIA, Elisabeth; DE HERDE, André. **A simple design tool for the thermal study of dwellings**. Energy and Buildings, v.34, p. 411–420, 2002.

HESHONG, L. **Thermal Delight in Architecture**. 1979.

JESUS, Edmir dos Santos; GONÇALVES, Paulo Henrique Lopes; OLIVEIRA, Maria do Carmo Felipe de. **A Variabilidade dos elementos meteorológicos associados ao fenômeno El Niño na cidade de Macapá – AP**. Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Rio de Janeiro, 2002, p. 1009-1013.

KRÜGER, Eduardo L. **Aplicação de equações preditivas a um sistema construtivo destinado à habitação de interesse social: Avaliação de desempenho térmico em 11 cidades brasileiras**. In: VII Encontro Nacional e III Conferência Latino-Americana sobre Conforto e Desempenho Energético – VII ENCAC e III COTEDI. Curitiba, Paraná, 5 a 7 de novembro, 2003.

KRÜGER E.L. LAROCA, C. **Thermal performance evaluation of a low-cost housing prototype made with plywood panels in Southern Brazil**. Applied Energy. v. 87, p. 661–672, 2010.

KUMAR, S.; MAHDAVI, A. **Integrating thermal comfort field data analysis in a case-based building simulation environment.** Building and Environment, v. 36, p. 711–720, 2001.

LAI, J. H. K.; YIK, F. W. H.. **Perception of importance and performance of the indoor environmental quality of high-rise residential buildings.** Building and Environment, v. 44, p. 352– 360, 2009.

LEITE, Juliano Silva de V. **Análises de elementos arquitetônicos de proteção solar em edificações institucionais na cidade de Natal/RN – Diretrizes projetuais.** Mestrado em Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (PPGAU). Centro de Tecnologia. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, Rio Grande do Norte, 2009.

LUO, C.; MOGHTADERI, B.; PAGE, A. **Effect of ground boundary and initial conditions on the thermal performance of buildings.** Applied Thermal Engineering, v. 30, p. 2602 – 2609, 2010.

MANFREDINI, Constance; MAIA, Marco Antônio Lopes; FEDRIZZI, Beatriz. **A percepção da unidade territorial de conjuntos habitacionais, sob o ponto de vista de seus moradores.** Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo – NUTAU. São Paulo, 2002.

MALERONKA, Camila. **PAR-REFORMA: Quem se habilita? A Viabilização de empreendimentos habitacionais em São Paulo através do Programa de Arrendamento Residencial – Modalidade Reforma: 1999-2003.** 133p. Dissertação (Mestrado em Habitação: Planejamento, Gestão e projeto) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Área de concentração: Planejamento, Gestão e Projeto. São Paulo, 2005.

MARSH, Andrew. **Ecotect.** Perth: Square One Research PTY LTD, 2003.

MARTINS, Thiago L. de O. G. **Dispositivos de proteção solar e eficiência energética em edifícios de escritório: uma avaliação para a cidade de Maceió/AL.** Maceió. Dissertação (Mestrado em Dinâmicas do Espaço Habitado) – Universidade Federal de Alagoas, UFAL, Alagoas, 2007.

MOHIT, Mohammad Abdul; IBRAHIM, Mansor; RASHID, Yong Razidah. **Assessment of residential satisfaction in newly designed public low-cost**

housing in Kuala Lumpur, Malaysia. Habitat International, ScienceDirect, p. 1-10, 2009.

MOLION, L. C. B. **Climatologia dinâmica da região amazônica: mecanismos de precipitação.** Revista Brasileira de Meteorologia, 1987, vol. 2, p. 107 – 117.

MWASHA, A.; WILLIAMS, R.G.; IWARO, J. **Modeling the performance of residential building envelope: The role of sustainable energy performance indicators.** Energy and Buildings, v. 43, p. 2108–2117, 2011.

NECHET, Dimitrie; SÁ, Marta de Oliveira; BARROS, Edivaldo da Silva; PEREIRA, Luciana Chaves. **Variabilidade diurna de precipitação e de trovoadas em Rio Branco – AC.** Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Rio de Janeiro, 2002, p. 478-482.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil.** Rio de Janeiro: FIBGE, 1979.
OLGYAY, Victor. **Arquitectura y Clima. Manual de Diseño Bioclimáticos para Arquitectos e Urbanistas.** Editorial Gustavo Gili S A, Barcelona, 1998.

ORAL, G. K, YENER, A. K, BAYAZIT, N. T. **Building envelope design with the objective to ensure thermal, visual and acoustic comfort conditions.** Building and Environment, v. 39, p. 281–287, 2004.

PANTIC, S.; CANDANEDO, L.; ATHIENITIS, A. K. **Modeling of energy performance of a house with three configurations of building-integrated photovoltaic/thermal systems.** Energy and Buildings, v. 42, p. 1779–1789, 2010.

PEREIRA, Agnes C. W. **Diretrizes para implantação de sistemas construtivos abertos na habitação de interesse social através da modulação.** Universidade Federal do Paraná – UFPR. Programa de Pós-Graduação em Construção Civil. Dissertação de Mestrado. Curitiba, Paraná, 2005.

PINTO, Josefa Eliane S. de S.; SANTOS, Fábila Verônica dos; SOUZA, Inajá Francisco de. **Variação rítmica dos elementos climáticos em Aracaju-SE.** Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Rio de Janeiro, 2002, p. 641-646.

SILVA, Cassandra Ribeiro de O. e. **Metodologia e Organização do projeto de pesquisa.** Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará. Fortaleza – CE, 2004.

SILVA, Pollyanna Kelly de Oliveira; ARAGÃO, Maria Regina da Silva; CORREIA, Magaly de Fatima; MELO, Ewerton Cleudson de Sousa. **Variabilidade climática no mês de janeiro na área do aeroporto internacional de Aracaju: período 2003-2006**. Anais do XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, Florianópolis, Santa Catarina, 2006.

TANG, Runsheng; MEIR, I. A.; WU, Tong . **Thermal performance of non air-conditioned buildings with vaulted roofs in comparison with flat roofs**. Building and Environment, v. 41, p. 268–276, 2006.

THORMARK, C. **The effect of material choice on the total energy need and recycling potential of a building**. Building and Environment, v. 41, p. 1019–1026, 2006.

TZEMPELIKOS, A; BESSOUDO, M.; ATHIENITIS, A.K.; ZMEUREANU, R. **Indoor thermal environmental conditions near glazed facades with shading devices e Part II: Thermal comfort simulation and impact of glazing and shading properties**. Building and Environment, v. 45, p. 2517-2525, 2010.

UNVER R., AKDAG N.Y., GEDIK G.Z., OZTURK L.D., KARABIBER Z. **Prediction of building envelope performance in the design stage: an application for office buildings**. Building and Environment, v. 39, p. 143–152, 2004.

VISSILIA, A.M.. **Bioclimatic lessons from James C. Rose's architecture**. Building and Environment, v. 44, 2009, p. 1758–1768.

VILLAÇA, Flávio. **A recente urbanização brasileira**. In : CASTRIOTA, Leonardo Barci (Org.), Urbanização brasileira, redescobertas, Editora C/Arte, Belo Horizonte, pp.28-41, 2003.

YOSHIDA, Rosana. **Das normas em conforto térmico ao projecto de arquitetura. Estudo de Caso para Edifícios de Habitação - Zona Bioclimática Brasileira Z3 – Brasil**. Dissertação de Mestrado. UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA Faculdade de Arquitectura. Lisboa, Portugal, 2006

YOSHINO, H.; YOSHINO, Y.; ZHANG, Q.; MOCHIDA, A.; LI, N.; LI, Z.; MIYASAKA, H. **Indoor thermal environment and energy saving for urban residential buildings in China**. Energy and Buildings, v. 38, p. 1308–1319, 2006.

YU, J.; YANG, C.; TIAN, L.; LIAO, D. **Evaluation on energy and thermal performance for residential envelopes in hot summer and cold winter zone of China.** *Applied Energy*, v. 86, p. 1970–1985, 2009.

APÊNDICE: Simulações da insolação com o SketchUp Pro 7.

Belém– PA

Latitude: -1.27

Longitude: -48.30

Orientação	22 de junho	
	9h	15h
Norte		
Leste		
Sul		
Oeste		

Orientação	22 de dezembro	
	9h	15h
Norte		
Leste		
Sul		



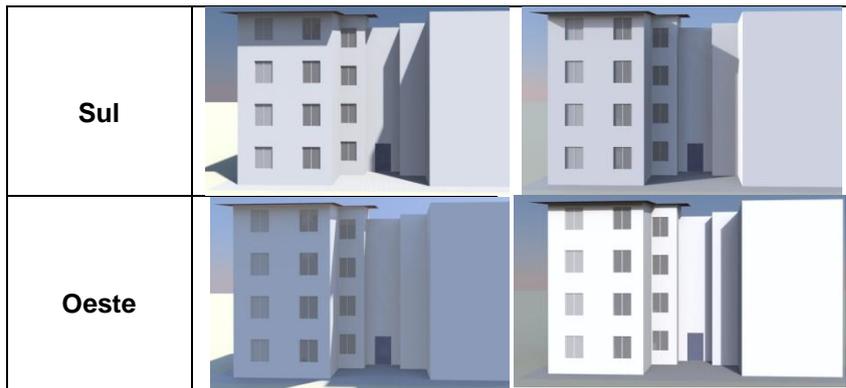
Fortaleza – CE

Latitude: -3.43

Longitude: -38.32

Orientação	22 de junho	
	9h	15h
Norte		
Leste		
Sul		
Oeste		

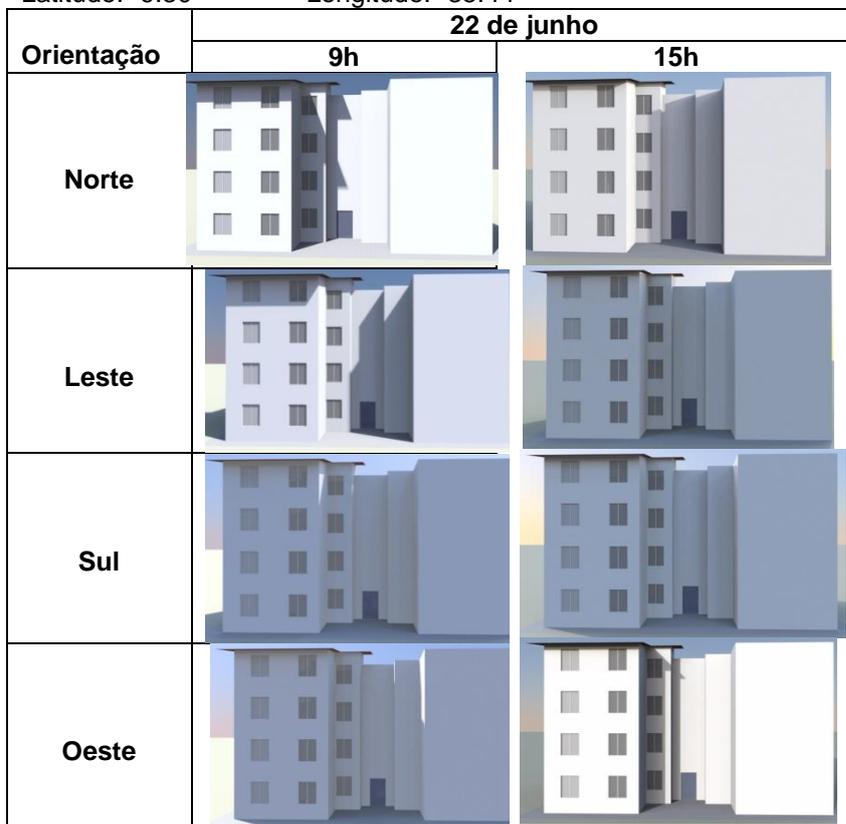
Orientação	22 de dezembro	
	9h	15h
Norte		
Leste		



Maceió – AL

Latitude: -9.30

Longitude: -35.44





Salvador – BA

Latitude: -12.58

Longitude: -38.30

Orientação	22 de junho	
	9h	15h
Norte		
Leste		
Sul		
Oeste		

Orientação	22 de dezembro	
	9h	15h
Norte		
Leste		
Sul		
Oeste		

Rio de Janeiro – RJ

Latitude: - 22.54

Longitude: - 43.12

Orientação	22 de junho	
	9h	15h
Norte		
Leste		
Sul		
Oeste		

Orientação	22 de dezembro	
	9h	15h
Norte		
Leste		
Sul		
Oeste		