

SKARLEN FIALHO SORIA GALVARRO

**ESTUDO DO IMPACTO DOS REQUISITOS DE SOMBREAMENTO
ESTABELECIDOS NO PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM (PBE)
NO DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO E LUMINOSO DE EDIFICAÇÕES
RESIDENCIAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2013

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

G182e
2013

Galvarro, Skarlen Fialho Soria, 1986-
Estudo do impacto dos requisitos de sombreamento
estabelecidos no Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) no
desempenho termoenergético e luminoso de edificações
residenciais / Skarlen Fialho Soria Galvarro. – Viçosa, MG,
2013.

xx, 138 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Joyce Correna Carlo.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Habitações - Propriedades térmicas - Simulação por
computador. 2. Iluminação. 3. Arquitetura e clima. 4. Calibração.
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Arquitetura
e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e
Urbanismo. II. Título.

CDD 22. ed. 720.472

SKARLEN FIALHO SORIA GALVARRO

**ESTUDO DO IMPACTO DOS REQUISITOS DE SOMBREAMENTO
ESTABELECIDOS NO PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM (PBE)
NO DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO E LUMINOSO DE EDIFICAÇÕES
RESIDENCIAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 22 de agosto de 2013.

Roberta Vieira Gonçalves de Souza

Antônio Cleber Gonçalves Tibiriçá

Joyce Correna Carlo
(Orientadora)

“Aqueles que passam por nós não vão sós, não nos deixam sós. Deixam um pouco de si, levam um pouco de nós.”

Antoine de Saint-Exupéry

“A alegria está na luta, na tentativa, no sofrimento envolvido. Não na vitória propriamente dita.”

Mahatma Gandhi

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pelo amanhecer de cada dia e força em cada dificuldade.

Ao meu pai José Alberto Soria Galvarro Ontiveros, por ser sempre minha referência, meu grande amigo e incentivador de tudo que faço.

À minha mãe Dulcinéia Fialho (*in memoriam*) que, à sua maneira, sempre esteve comigo, protegendo-me e dando força quando mais precisava.

Aos meus irmãos Svetlana, Stephanie e Alan; em especial, a Svetlana, que acompanhou o dia a dia da construção deste trabalho.

Ao meu noivo Douglas A.J. de Araújo, a quem agradeço pelo amor e refúgio nos momentos que mais precisei e por incentivar o meu crescimento profissional. À minha sogra Eva e à minha cunhada Jennifer que, mesmo à distância, sempre estiveram na torcida.

À minha orientadora, professora Joyce Correna Carlo, pela sua dedicação neste trabalho, pelas orientações valiosas, pelo incentivo em cada dificuldade encontrada, pela confiança no meu trabalho e por ser mais do que uma orientadora, uma amiga por quem tenho grande admiração. Serei eternamente grata por tudo que me ensinou.

Ao professor Antônio Cleber Gonçalves Tibiriçá, pelos ensinamentos acadêmicos e pelas lições de vida ao longo desses anos de convivência.

Aos meus amigos do LATECAE, em especial à Ligiana P.G. Fonseca, cuja amizade e dedicação foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho; a Ítalo B.B. Guimarães, pela generosidade e competência em cada ajuda oferecida sobre o programa de simulação; e a Alexandre C. Amorim, fiel companhia e amizade nos dias mais intensos deste trabalho.

Aos meus amigos, em especial à Nathália Menegon, pela amizade, irmandade e carinho incondicional e que, mesmo à distância, acompanhou as diversas fases deste trabalho e à Debora V. Cremonez, pela amizade, a quem confiei minhas maiores alegrias e angústias neste mestrado, minha referência de força e por ter permitido entrar em sua família de uma maneira muito especial.

À Universidade Federal de Viçosa, pelos 10 anos de presença em minha vida, desde o ensino médio até o mestrado, a grande responsável pela profissional que me tornei e pelas minhas melhores lembranças e oportunidades.

Aos professores da Graduação e da Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, pelos ensinamentos oferecidos.

Aos professores Gustavo S. Veríssimo (CCE/UFV), Josélia G. Portugal (DAU/UFV), Ítalo Stephan (DAU/UFV) e Bernardo J.M. Somosa (Udelar/Uruguai), os quais acreditaram desde o início neste trabalho, ao oferecerem as cartas de referência para o processo de seleção deste mestrado.

Ao Projeto Reuni, à Capes e ao CNPq, pelo apoio financeiro, essencial para o desenvolvimento deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE QUADROS	ix
LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xv
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xvi
RESUMO.....	xvii
ABSTRACT.....	xix
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
2. JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TEMA	7
3. OBJETIVOS	8
3.1. Objetivo geral.....	8
3.2. Objetivos específicos	8
4. ESTRUTURA DO TRABALHO	8
5. LIMITAÇÕES DO TRABALHO.....	10
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	11
CAPÍTULO 2 - CALIBRAÇÃO DE SIMULAÇÃO TÉRMICA E DE ILUMINAÇÃO NATURAL DE UMA UNIDADE HABITACIONAL EM EDIFÍCIO MULTIFAMILIAR	14
1. INTRODUÇÃO.....	14
2. OBJETIVO	16
3. ASPECTOS RELEVANTES SOBRE CALIBRAÇÃO DE MODELOS PARA SIMULAÇÃO TÉRMICA E DE ILUMINAÇÃO NATURAL.....	16
3.1. Calibração do modelo para simulação térmica	16
3.2. Calibração do modelo para simulação da iluminação natural.....	19
4. MATERIAIS E MÉTODOS	20
4.1. Caracterização da cidade de Viçosa, Minas Gerais	24
4.2. Seleção da unidade habitacional	25
4.3. Descrição e caracterização da unidade habitacional	26
4.4. Levantamento de campo	27
4.4.1. Procedimentos de medição de variáveis ambientais higrotérmicas	27
4.4.2. Procedimentos de medição da iluminação natural	28
4.5. Procedimento de calibração	30
4.5.1. Modelo computacional térmico.....	30

4.5.2. Modelo computacional de iluminação natural	32
5. CASO BASE.....	33
5.1. Caso base do modelo térmico	33
5.2. Caso base do modelo de iluminação natural	36
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
6.1. Calibração do modelo para a simulação térmica.....	38
6.2. Calibração do modelo para simulação da iluminação natural.....	45
6.2.1. Iluminâncias externas simuladas e medidas	45
6.2.2. Medidas de ajuste do modelo	45
7. CONCLUSÕES	50
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
CAPÍTULO 3 - AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO POR SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL.....	55
1. INTRODUÇÃO	55
2. OBJETIVO	57
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	57
3.1. Desempenho térmico.....	58
3.2. Normas e regulamentos de desempenho térmico das edificações	60
3.3. Simulação computacional	64
4. MATERIAIS E MÉTODOS	64
4.1. Caracterização dos modelos para simulação térmica.....	65
4.1.1. Caso base	65
4.1.2. Caso referência	67
4.1.3. Alternativas de simulação.....	68
4.2. Critérios de análise dos resultados da simulação térmica	70
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	72
5.1. Análise dos ambientes em que proteções solares são recomendadas pelo RTQ-R (alternativas de simulação).....	72
5.2. Análise dos ambientes em que proteções solares não são recomendadas pelo RTQ-R (alternativas de simulação).....	77
5.3. Análise dos ambientes com proteções solares recomendadas pelo RTQ-R (caso referência)	81
6. CONCLUSÕES	84
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
CAPÍTULO 4 - AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS DE ADEQUAÇÃO VISUAL POR PROTEÇÕES SOLARES DE UMA UNIDADE HABITACIONAL.....	88
1. INTRODUÇÃO	88

2. OBJETIVOS	89
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	90
3.1. Desempenho luminoso e conforto visual	90
3.2. Proteções solares e a iluminação natural.....	91
3.3. Simulação computacional e o programa <i>Daysim</i>	93
4. MATERIAIS E MÉTODOS	94
4.1. Caso base.....	94
4.2. Caso referência.....	96
4.3. Alternativas de simulação	98
4.4. Critérios de análise dos resultados da simulação da iluminação natural	98
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	100
5.1. Análise dos ambientes em que proteções solares são recomendadas pelo RTQ-R (alternativas de simulação).....	101
5.2. Análise dos ambientes em que proteções solares não são recomendadas pelo RTQ-R (alternativas de simulação).....	105
5.3. Análise dos ambientes com proteções solares recomendadas pelo RTQ-R (caso referência)	109
6. CONCLUSÃO	112
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	113
CAPÍTULO 5 - DISCUSSÃO GERAL.....	116
CAPÍTULO 6 - CONCLUSÃO GERAL.....	118
APÊNDICE A - Alterações realizadas no modelo térmico durante o processo de calibração térmica pelo programa <i>EnergyPlus</i>	121
APÊNDICE B - Viés médio (viesM) da calibração térmica	123
APÊNDICE C - Alterações realizadas no modelo de iluminação durante o processo de calibração pelo programa <i>Daysim</i>	126
APÊNDICE D - Vies médio (viesM) para comparar os dados simulados (S) e os dados medidos (M) e, o erro quadrático médio (EQM) para todos os casos simulados na calibração do modelo de iluminação, para avaliação por ambiente (Amb) e por unidade habitacional (UH)	128
APÊNDICE E - Máscaras de sombra das proteções solares propostas para as alternativas de simulação, conforme Quadro 3.2.....	130

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Ângulos de sombreamento recomendados pelo RTQ-R para aberturas com área de janela < 25% da área do piso (para ângulos internos) 67

Tabela 4.1 - Viés médio (viesM) e erro quadrático médio (EQM) do caso base, para dados simulados (S) e dados medidos (M) 95

Tabela 4.2 - Ângulos de sombreamento recomendados pelo RTQ-R para aberturas com área de janela < 25% da área do piso (para ângulos internos) 97

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 - Especificações técnicas do registrador	21
Quadro 2.2 - Período de insolação nas fachadas da unidade habitacional estudada	27
Quadro 2.3 - Padrão de uso de ventilação das aberturas nos dias de medição	35
Quadro 2.4 - Casos cujos ajustes foram incorporados nas simulações subseqüentes.....	40
Quadro 2.5 - Erro quadrático médio da temperatura radiante média (T_r) dos casos que apresentaram melhorias na relação dados simulados x dados medidos, para as estações: inverno (I), primavera (P) e verão (V) para a unidade habitacional (UH) estudada.....	42
Quadro 2.6 - Erro quadrático médio da temperatura de bulbo seco (TBS) dos casos que apresentaram melhorias na relação dados simulados x dados medidos, para as estações: inverno (I), primavera (P) e verão (V) para a unidade habitacional (UH) estudada.....	43
Quadro 2.7 - Erro quadrático médio da umidade relativa (UR) dos casos que apresentaram melhorias na relação dados simulados x dados medidos, para as estações: inverno (I), primavera (P) e verão (V) para a unidade habitacional (UH) estudada.....	44
Quadro 2.8 - Alterações realizadas nos casos que foram incorporadas nas seguintes simulações.....	46
Quadro 2.9 - Características dos casos simulados com a indicação das alterações ocorridas em cada caso	48
Quadro 2.10 - Viés médio ($vies_M$) e erro quadrático médio (EQM) com base nos dados medidos (M) e nos dados simulados (S) para os casos simulados na calibração, para a avaliação por ambiente (amb) e pela unidade habitacional (UH).....	49
Quadro 3.1 - Proteções solares conforme ângulos de sombreamento recomendados pelo RTQ-R	68
Quadro 3.2 - Características das proteções solares da unidade habitacional, que diferenciam as alternativas de simulação.....	69
Quadro 4.1 - Proteções solares conforme ângulos de sombreamento recomendados pelo RTQ-R	97

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Oferta interna brasileira de energia.....	4
Figura 1.2 - Composição setorial do consumo de eletricidade para o ano de 2011.....	4
Figura 1.3 - Consumo final de energia no Brasil por setor no ano de 2011.	5
Figura 1.4 - Participação dos eletrodomésticos no consumo residencial do Brasil.....	5
Figura 1.5 - Mapa conceitual da dissertação.....	9
Figura 2.1 - (a) Registrador de temperatura de bulbo seco e umidade relativa; (b) Registrador de iluminâncias.....	21
Figura 2.2 - (a) Suporte 1; (b) Uso de canaleta plástica e fita adesiva para facilitar o posicionamento e a fixação dos equipamentos.	22
Figura 2.3 - (a) Suporte 2; (b) Material EVA preto ao redor do recorte onde se encaixa o registrador de iluminâncias.....	23
Figura 2.4 - Temperaturas médias mensais de Viçosa, segundo arquivo climático de 2005 a 2010.....	24
Figura 2.5 - Umidade relativa ao longo do ano para a cidade de Viçosa, segundo arquivo climático de 2005 a 2010.	25
Figura 2.6 - Planta da unidade habitacional, com o mobiliário e as orientações das fachadas.	25
Figura 2.7 - Vista aérea da edificação que contém a unidade habitacional em estudo...	26
Figura 2.8 - Malha de pontos para as medições das variáveis térmicas.	28
Figura 2.9 - Medições externas: registradores posicionados no centro do peitoril da janela do quarto 2.....	28
Figura 2.10 - Malha de pontos de medição das iluminâncias internas e externas.	29
Figura 2.11 - Dois processos de calibração: (a) paralela; (b) em série.....	32
Figura 2.12 - (a) As zonas térmicas do caso base, separadas para melhor visualização, (b) perspectiva da fachada sudeste e nordeste.	33
Figura 2.13 - As respectivas zonas de 1 a 5 da unidade habitacional do caso base: (a) Fachadas sudeste e nordeste; (b) Zona lateral e fachada noroeste.....	33
Figura 2.14 - Tipo de parede (a) e tipo de laje (b) da unidade habitacional.	34
Figura 2.15 - Padrão de uso de ocupação nos três dias de medições.....	35

Figura 2.16 - Modelo inicial para o processo de calibração do modelo de iluminação (caso base), com as respectivas cinco zonas.....	36
Figura 2.17 - Temperatura radiante média dos ambientes de permanência prolongada para as três estações medidas.....	38
Figura 2.18 - Temperatura de bulbo seco dos ambientes de permanência prolongada para as três estações medidas.....	39
Figura 2.19 - Umidade relativa dos ambientes de permanência prolongada para as três estações medidas.....	39
Figura 2.20 - Processo em paralelo (a) e processo em série (b) realizados com os casos simulados que apresentaram êxito no processo de calibração.....	40
Figura 2.21 - Erro quadrático médio (EQM) do caso base e do caso calibrado.....	45
Figura 2.22 - (a) Caso base, (b) Caso 1: inserção do telhado defronte ao quarto 2 (Zona 3).....	47
Figura 2.23 - (a) Caso 2: elevação da unidade habitacional ao nível real (9 m) e (b) Caso 5: modelagem das esquadrias de alumínio das janelas.....	47
Figura 2.24 - Caso 22: modelo com as superfícies do edifício completo.....	47
Figura 3.1 - Radiação solar e suas decomposições ao incidir em uma superfície.....	58
Figura 3.2 - Zona de Conforto para edifícios naturalmente ventilados, em função da temperatura operativa.....	63
Figura 3.3 - (a) As nove zonas térmicas do caso base, separadas para melhor visualização e (b) zonas 1 a 5, correspondente aos cinco cômodos da unidade habitacional.....	65
Figura 3.4 - Máscara de sombra para os ângulos de proteções solares conforme o RTQ-R, para as orientações: (a) norte; (b) oeste; (c) sul; (d) noroeste e (e) sudoeste.....	68
Figura 3.5 - Máscara de sombra para as aberturas da alternativa tipo 5A.....	70
Figura 3.6 - Forma de apresentação dos resultados esperados.....	71
Figura 3.7 - Horas em conforto térmico obtido pelas alternativas de simulação em função do 'somb', conforme análise pelo critério 1 ($0 < \text{somb} < 0,5$).....	73
Figura 3.8 - Horas de conforto térmico obtido pelas alternativas de simulação em função do 'somb' conforme análise pelo critério 2 ($0 < \text{somb} < 1$).....	74
Figura 3.9 - Horas em conforto térmico obtido pelas alternativas de simulação em função do 'somb', conforme análise pelo critério 2 ($0 < \text{somb} < 1$), com limitação do eixo das abscissas em função do caso base.....	75

Figura 3.10 - Horas em desconforto térmico por frio obtido pelas alternativas de simulação em função do 'somb', conforme análise pelo critério 2 ($0 < \text{somb} < 1$), com limitação do eixo das abscissas em função do caso base.....	76
Figura 3.11 - Horas em desconforto térmico por calor obtido pelas alternativas de simulação em função do 'somb', conforme análise pelo critério 2 ($0 < \text{somb} < 1$), com limitação do eixo das abscissas em função do caso base.....	77
Figura 3.12 - Comparação das horas em conforto térmico (HCT), horas em desconforto térmico por frio (HDTF) e horas em desconforto térmico por calor (HDTC) entre o caso base (CB) e as alternativas de simulação (1D,2D,3D,6C e 8D), para o ambiente sala com orientação leste.....	78
Figura 3.13 - Comparação das horas em conforto térmico (HCT), horas em desconforto térmico por frio (HDTF) e horas em desconforto térmico por calor (HDTC) entre o caso base (CB) e as alternativas de simulação (1D, 2D, 3D, 6C e 8D), para o ambiente quarto 1 com orientação leste.....	79
Figura 3.14 - Comparação das horas em conforto térmico (HCT), horas em desconforto térmico por frio (HDTF) e horas em desconforto térmico por calor (HDTC) entre o caso base (CB) e as alternativas de simulação (1A, 2A, 3A, 7A e 8A), para o ambiente quarto 2 com orientação leste.....	79
Figura 3.15 - Comparação das horas em conforto térmico (HCT) e desconforto térmico por frio (HDTF) e horas em desconforto térmico por calor (HDTC) entre o caso base (CB) e as alternativas de simulação (3E, 4B e 5A), para o ambiente quarto 2 com orientação nordeste.	80
Figura 3.16 - Comparação das horas em conforto térmico (HCT) e desconforto térmico por frio (HDTF) e horas em desconforto térmico por calor (HDTC) entre o caso base (CB) e as alternativas de simulação (3G para ambos), para os ambientes sala e quarto 1 com orientação sudeste.	81
Figura 3.17 - Comparação das horas em conforto térmico (HCT), horas em desconforto térmico por frio (HDTF) e horas em desconforto térmico por calor (HDTC) entre o caso base (CB) e o caso referência (CR), para o ambiente sala para diferentes orientações..	82
Figura 3.18 - Comparação das horas em conforto térmico (HCT), horas em desconforto térmico por frio (HDTF) e horas em desconforto térmico por calor (HDTC) entre o caso base (CB) e o caso referência (CR), para o ambiente quarto 1 para diferentes orientações.	83
Figura 3.19 - Comparação das horas em conforto térmico (HCT), horas em desconforto térmico por frio (HDTF) e horas em desconforto térmico por calor (HDTC) entre o caso base (CB) e o caso referência (CR), para o ambiente quarto 2 para diferentes orientações.	83
Figura 4.1 - (a) as cinco zonas que correspondem a cada um dos ambientes da unidade habitacional; (b) Caso base calibrado para simulação da iluminação natural pelo Daysim.	95

Figura 4.2 - Máscara de sombra para os ângulos de proteções solares conforme o RTQ-R, para as orientações: (a) norte; (b) oeste; (c) sul; (d) noroeste e (e) sudoeste.	98
Figura 4.3 - Exemplo de apresentação dos resultados esperados.	100
Figura 4.4 - Horas em adequação visual obtidas pelas alternativas de simulação em função do 'somb', conforme análise pelo critério 1 ($0 < \text{somb} < 0,5$).	102
Figura 4.5 - Horas em adequação visual obtidas pelas alternativas de simulação em função do 'somb', conforme análise pelo critério 2 ($0 < \text{somb} < 1$).	102
Figura 4.6 - Horas em adequação visual obtidas pelas alternativas de simulação em função do 'somb', conforme análise pelo critério 2 ($0 < \text{somb} < 1$), com limitação do eixo das abcissas em função do caso base.	103
Figura 4.7 - Horas em escurecimento no dia obtidas pelas alternativas de simulação em função do 'somb', conforme análise pelo critério 2 ($0 < \text{somb} < 1$), com limitação do eixo das abcissas em função do caso base.	104
Figura 4.8 - Horas em desconforto visual por ofuscamento obtidas pelas alternativas de simulação em função do 'somb', conforme análise pelo critério 2 ($0 < \text{somb} < 1$), com limitação do eixo das abcissas em função do caso base.	105
Figura 4.9 - Comparação das horas em adequação visual (HAV), horas em escurecimento no dia (HE) e horas em desconforto visual por ofuscamento (HDVO), entre o caso base (CB) e as alternativas de simulação (1D, 2D, 3D, 6C e 8D), para o ambiente sala com orientação leste.	106
Figura 4.10 - Comparação das horas em adequação visual (HAV), horas em escurecimento no dia (HE) e horas em desconforto visual por ofuscamento (HDVO), entre o caso base (CB) e as alternativas de simulação (1D, 2D, 3D, 6C e 8D), para o ambiente quarto 1 com orientação leste.	107
Figura 4.11 - Comparação das horas em adequação visual (HAV), horas em escurecimento no dia (HE) e horas em desconforto visual por ofuscamento (HDVO), entre o caso base (CB) e as alternativas de simulação (1A, 2A, 3A, 7A e 8A), para o ambiente quarto 2 com orientação leste.	107
Figura 4.12 - Comparação das horas em adequação visual (HAV), horas em escurecimento no dia (HE) e horas em desconforto visual por ofuscamento (HDVO), entre o caso base (CB) e as alternativas de simulação (3E, 4B e 5A), para o ambiente quarto 2 com orientação nordeste.	108
Figura 4.13 - Comparação das horas em adequação visual (HAV), horas em escurecimento no dia (HE) e horas em desconforto visual por ofuscamento (HDVO), entre o caso base (CB) e as alternativas de simulação (3G para ambos), para os ambientes sala e quarto 1 com orientação sudeste.	109
Figura 4.14 - Comparação das horas em adequação visual (HAV), horas em escurecimento no dia (HE) e horas em desconforto visual por ofuscamento (HDVO), entre o caso base (CB) e o caso referência (CR), para o ambiente sala, para diferentes orientações.	110

Figura 4.15 - Comparação das horas em adequação visual (HAV), horas em escurecimento no dia (HE) e horas em desconforto visual por ofuscamento (HDVO), entre o caso base (CB) e o caso referência (CR), para o ambiente quarto 1, para diferentes orientações. 111

Figura 4.16 - Comparação das horas em adequação visual (HAV), horas em escurecimento no dia (HE) e horas em desconforto visual por ofuscamento (HDVO), entre o caso base (CB) e o caso referência (CR), para o ambiente quarto 2, para diferentes orientações. 111

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DPI – Densidade de potência instalada

Eletrobrás – Centrais Elétricas Brasileiras

Inmetro – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

MME – Ministério de Minas e Energia

NRCC – *National Research Council Canada*

PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem

Procel – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

RAC – Requisitos de Avaliação de Conformidade para Eficiência Energética de Edificações

RTQ-C – Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edificações Comerciais, de Serviços e Públicos

RTQ-R – Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais

TMY – *Test Meteorological Year*

UH – Unidade habitacional

Z1, Z2, Z3, Z4 e Z5 – Zonas térmicas

LISTA DE SÍMBOLOS

CB – Caso base

EQM – Erro quadrático médio

TBS – Temperatura de bulbo seco

Tn – Temperatura neutra

Tr – Temperatura radiante

UH – Umidade Relativa

viesM – Viés Médio

α_d – Ângulo de sombreamento alfa direito

α_e – Ângulo de sombreamento alfa esquerdo

β_d – Ângulo de sombreamento beta direito

β_e – Ângulo de sombreamento beta esquerdo

γ_d – Ângulo de sombreamento gama direito

γ_e – Ângulo de sombreamento gama esquerdo

RESUMO

GALVARRO, Skarlen Fialho Soria, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2013. **Estudo do impacto dos requisitos de sombreamento estabelecidos no Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) no desempenho termoenergético e luminoso de edificações residenciais.** Orientadora: Joyce Correna Carlo.

Em meio a um cenário energético mundial, onde é crescente a busca pela eficiência energética, novas normas, regulamentações e o uso de proteções solares têm sido importantes aliados, como o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R), que apresenta um indicador de eficiência das proteções solares, ‘somb’. Considerando o indicador como foco deste trabalho, tem-se como objetivo avaliar as indicações de eficiência das proteções solares do RTQ-R, sob o aspecto de conforto térmico e luminoso em uma unidade habitacional (UH) multifamiliar representativa da cidade de Viçosa (MG). O método foi composto por: a) levantamento de campo para obter características construtivas e com medição das variáveis ambientais térmicas (temperatura de bulbo seco – TBS, temperatura radiante – Tr e umidade relativa – UR) e luminosas (iluminâncias) dos ambientes de permanência prolongada da UH (sala e quartos) ocupada e ventilada naturalmente; b) modelagem do caso base (CB), que consiste na UH sem proteções solares; c) modelagem dos casos referência (CB acrescido de proteções solares conforme RTQ-R) e das alternativas de simulação (CB acrescido de diferentes tipos de proteções solares de acordo ou não com os conceitos de bioclimatologia); d) simulação térmica e luminosa dos três grupos de casos modelados pelo programa *EnergyPlus* e *Daysim*, respectivamente. Os dados obtidos pela calibração da UH estudada foram analisados estatisticamente por meio dos índices de viés médio (viesM) e erro quadrático médio (EQM). Observou-se que as variações destes índices no modelo térmico os níveis sazonais e por ambiente foram maiores do que os da UH, sendo a maior redução encontrada no EQM da UR, em 1%. Já na calibração luminosa, realizada por meio de uma avaliação prévia das iluminâncias medidas e simuladas, foi comprovado que os EQM elevados, ao fim da calibração, foram decorrentes da radiação solar nos dias de medição ser consideravelmente superiores à radiação do arquivo climático usado na simulação, o que permitiu admitir um caso calibrado com EQM relativamente elevado, no qual houve uma redução de 15,79% do EQM, em relação ao caso base. Pelas simulações térmicas, foram feitas análises do número de horas em conforto térmico e desconforto (por frio ou calor).

Como principais resultados, verificou-se que as horas de desconforto por calor foram mais sensíveis às proteções solares; a relevância das proteções solares recomendadas pelo RTQ-R foram confirmadas por quantificação, mas não foi identificada correlação entre a variável ‘somb’ do RTQ-R e o número de horas em conforto térmico. Para a simulação luminosa, considerou-se um intervalo de adequação visual entre: 100 lx e 2000 lx, uma vez que valores superiores a este geram desconforto visual por ofuscamento. Como resultados, identificou-se que as proteções solares dos casos de referência reduziram o desconforto visual por ofuscamento, porém aumentaram o nível de escurecimento durante o dia, e não foi encontrada correlação entre ‘somb’ e as horas em adequação visual, não sendo, portanto, esta uma variável adequada para descrever as condições de iluminação natural em ambientes residenciais.

ABSTRACT

GALVARRO, Skarlen Fialho Soria, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August, 2013. **Study the impact of shading requirements established in the Brazilian Labeling Program (PBE) in thermoenergetic performance and light residential buildings.** Adviser: Joyce Correna Carlo.

Amid the world energy scene and the growing demand for energy efficiency in buildings, new standards, regulations and the use of shading devices have been important allies, such as Quality Technical Requirements for Energy Efficiency Level of the Residential Buildings (QTR-R), which provides an indicator of efficiency of solar protections, called 'somb'. Considering the 'somb' as the focus of this research, the objective is to evaluate the solar protections efficiency indication of QTR-R, regarding to thermal and lighting comfort in a multifamily housing unit (HU), representative of Viçosa (MG). The method is composed of: a) field survey of the natural ventilated HU to identifying the constructive characteristics and conducting measurements of thermal data (dry-bulb temperature (WBT), radiant temperature - T_r and relative humidity - RH) and levels of illumination data (illuminance) of the prolonged occupation environments (living room and bedrooms), occupied and naturally ventilated; b) modeling and calibration of the base case (CB), consisting of the HU without shading devices; c) modeling of reference cases (the base case with adding shading devices as recommended by the QTR-R), and modeling of simulation alternatives (the base case with adding other shading devices in accordance or not with bioclimatic concepts); d) thermal and daylighting simulations of the three groups of modeled cases, by EnergyPlus and Daysim respectively. The data resulting from the calibration of the study HU were statistically analyzed using the mean bias index (viesM) and mean squared error (SME). It was observed that these variations index in the thermal model in seasonal and room levels were greater than the relative HU, being found in the largest reduction in SME RH 1%. Regarding the calibration process of the lighting model, accomplished through a preliminary evaluation of the data obtained by measurement and by simulation, was proven that the high rates of SME were due to the fact that the solar radiation levels in the days of measurement was significantly higher than the radiation levels of the weather data file used in the simulation. For this reason, the

calibrated case was considered acceptable even with a relatively high SME, with a reduction of the SME in 15.79% compared to the base case. From the thermal simulations was identified the number of hours in thermal comfort and discomfort (for cold or heat). It was found that: the hours which was identified heat discomfort were more sensitive to solar protections; the importance of shading devices recommended by QTR-R were confirmed by quantifying, but no correlation was found between the variable 'somb' from QTR-R and the number of hours on thermal comfort. To the lighting simulation the adequate visual range considered was between 100 lx to 2000 lx, greater values than this generate a visual discomfort by glare. As a result, it was identified that the shading devices of the reference cases reduced the glare discomfort, but increased the level of darkness during the day, and wasnot found any correlation between the variable 'somb' and the numbers of hours in visual comfort, therefore this isn't an appropriate variable to describe the natural lighting in residential environments.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta a pesquisa de mestrado e introduz o tema, onde a justificativa e relevância, os objetivos, e a estrutura da pesquisa são descritos. Ele contextualiza o trabalho ao descrever o cenário energético mundial a partir da crise do petróleo na década de 1970 e no Brasil especificamente, com abordagem nas novas normas e regulamentações que surgiram posteriormente à crise de racionamento de energia de 2001. Além disso, foram abordados fatores que interferem no desempenho da edificação e no conforto do usuário, ambos sob o ponto de vista térmico e luminoso. Dentre as regulamentações brasileiras se dará maior destaque a relacionada ao Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) para edificações residenciais, visto que o foco deste trabalho é discutir as determinações relativas às proteções solares do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais, RTQ-R (BRASIL, 2012a).

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O acelerado crescimento do uso de energia em todo o mundo gerou preocupações quanto às dificuldades de abastecimento (esgotamento dos recursos energéticos) e os impactos ambientais, como o aquecimento global (PÉREZ-LOMBARD; ORTIZ; POUT,2008). Na Europa, os setores residencial e terciário, participam com 40% do consumo final de energia e, estão em expansão, o que evidencia a grande necessidade que a União Europeia tem em reduzir o consumo energético nesse setor, seja para atender às determinações internacionais, como Protocolo de Quioto, ou para reduzir sua dependência energética a fim de obter desenvolvimento sustentável. Nos demais países desenvolvidos a situação é semelhante e, nos países cujos usos finais incluem a refrigeração como um dos principais usos, as necessidades energéticas operacionais das edificações chegarão futuramente aos níveis dos países desenvolvidos. Nesse contexto, torna-se essencial introduzir instrumentos e medidas que visem minimizar o impacto do setor da construção no consumo energético, principalmente por ser um setor com pouca tradição de análise energética (CASALS,2006).

Fatores como tamanho e localização definem o nível de consumo energético no setor residencial. Como exemplo, moradias de países desenvolvidos usam mais energia do que as economias emergentes. Para um futuro com energia sustentável torna-se necessário que a iniciativa privada juntamente com o governo promova a eficiência energética, a criação de novas tecnologias para produção de energia, criação de limites de consumo de energia, que estimulem a consciência social sobre o uso racional da energia (PÉREZ-LOMBARD; ORTIZ; POUT, 2008).

Antes da crise do petróleo de 1973, apenas alguns países da Europa possuíam exigências governamentais relacionadas ao consumo energético de edificações, cuja maioria tratava apenas de questões de isolamento térmico. Mas após sucessivas crises de energia no mundo, surgiram medidas energéticas e uma nova postura com relação ao consumo de energia, ocasionando até mesmo mudanças nas soluções arquitetônicas (BRASIL,2011).

A certificação energética é um mecanismo de mercado que visa alcançar padrões mais altos que os estabelecidos pelos regulamentos de desempenho mínimo. Um programa de certificação bem implementado deve promover uma adequada quantificação dos conceitos de projeto com potencial de redução de consumo de energia no edifício, tais como a arquitetura bioclimática, a refrigeração passiva e, o uso de energias renováveis (CASALS,2006).

O Protocolo de Quioto tornou as normas internacionais de desempenho térmico das edificações mais rigorosas. Desde então, diversos países têm desenvolvido suas normas de eficiência energética e desempenho térmico, tanto para as edificações residenciais quanto para as comerciais (SORGATO; LAMBERTS, 2012). Assim, foram criadas legislações que estabeleceram níveis mínimos de eficiência obrigatórios tanto para os equipamentos, quanto para os veículos e edificações, por meio de programas públicos(SOUZA et al., 2009).

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) foi criado em 1985, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME), executado pelas Centrais Elétricas Brasileiras (ELETROBRÁS) tornou-se programa governamental a partir do decreto de 1991. Possui subprogramas em diversas áreas, incluindo as edificações. Os resultados deste programa advêm principalmente de ações de *marketing* como a Etiquetagem, os Selo e Prêmio Procel. O Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) é coordenado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia(INMETRO) e informa o nível de desempenho energético dos produtos, o

que influencia tanto na decisão de compra do consumidor quanto na competitividade entre os fabricantes, a fim de oferecer produtos mais eficientes. Atua por meio de etiquetas informativas, para alertar os consumidores quanto à eficiência de alguns eletrodomésticos nacionais.

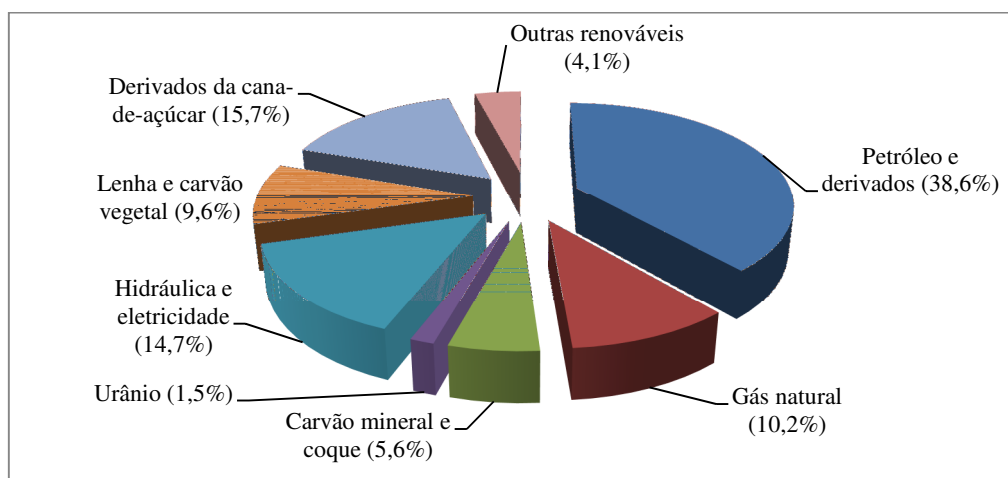
Crises de racionamento de energia elétrica ocorreram no Brasil em momentos diferentes aos de 2001 e 2002, como por exemplo, na região sul em 1986. A crise de racionamento de energia elétrica no Brasil em 2001 decorreu especificamente do fato da capacidade de geração de energia elétrica ser inferior ao consumo elevado, à falta de investimentos em geração, transmissão e distribuição de energia elétrica em níveis satisfatórios e, ao baixo volume de água nos reservatórios das usinas hidrelétricas (BARDELIN, 2004). Como decorrência dessa crise de racionamento, é criada a Lei n. 10.295, de 17 de outubro de 2001 (BRASIL,2001a), conhecida também como a Lei da Eficiência Energética, foi regulamentada pelo Decreto n. 4.059, de 19 de dezembro de 2001 (BRASIL,2001b) edispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Por meio dessa lei, foram definidos os procedimentos para a adoção dos níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia, fabricados ou comercializados no país (BRASIL,2001b).

Em meio a este contexto, o PBE Edifica é o programa de etiquetagem em edificações lançado em 2009 pelo Inmetro, juntamente com o Procel Edifica, composto pelos critérios presentes nos Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edificações Comerciais, de Serviços e Públicos, RTQ-C (BRASIL,2010) e, no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais – RTQ-R (BRASIL, 2012a) e nos Requisitos de Avaliação de Conformidade para Eficiência Energética de Edificações – RAC (BRASIL,2013). Com a criação do RTQ-C(BRASIL,2010) e do RTQ-R(BRASIL,2012a), as edificações podem ser classificadas quanto ao seu nível de eficiência energética, e receber uma etiqueta que varia de A (mais eficiente) para E (menos eficiente).

Atualmente, a situação energética do Brasil, no setor residencial, apresenta as seguintes características:

- a) A oferta interna de energia no Brasil, em 2011, correspondeu a 55,9% de energia não renovável (petróleo e derivados, gás natural, carvão mineral e coque, urânio) e, a 44,1% de energia renovável (hidráulica e eletricidade, lenha e carvão vegetal,

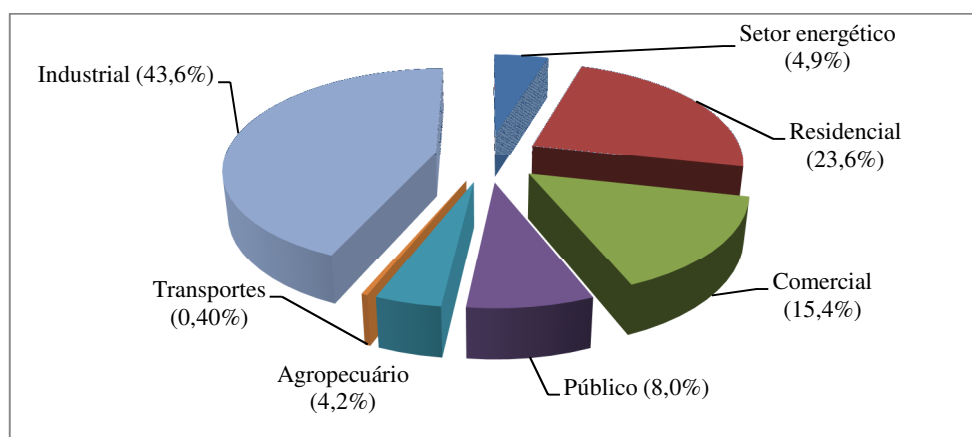
derivados da cana de açúcar, outras renováveis). E está distribuída conforme mostra a Figura 1.1.



Fonte: Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2012b) adaptado.

Figura 1.1- Oferta interna brasileira de energia.

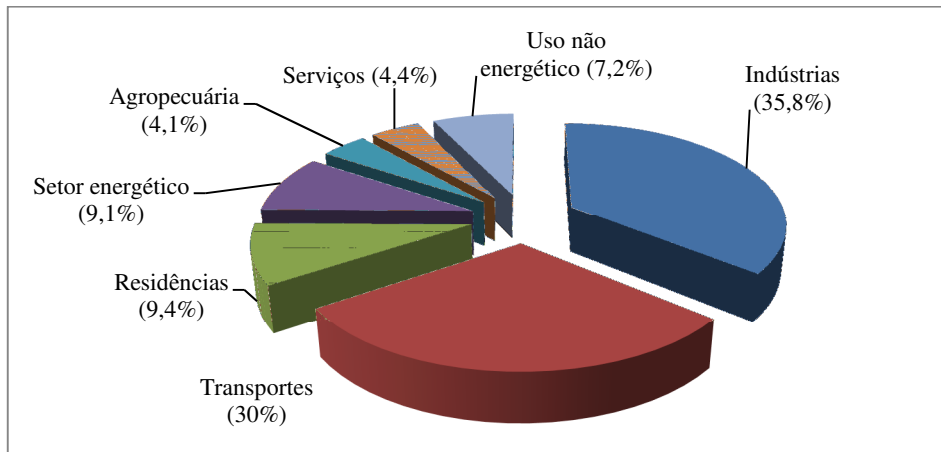
b) No ano de 2011, os setores residencial, comercial e público foram responsáveis por 47% do consumo da energia elétrica disponível no país (Figura 1.2) (BEN, 2012).



Fonte: Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2012b) adaptado.

Figura 1.2 - Composição setorial do consumo de eletricidade para o ano de 2011.

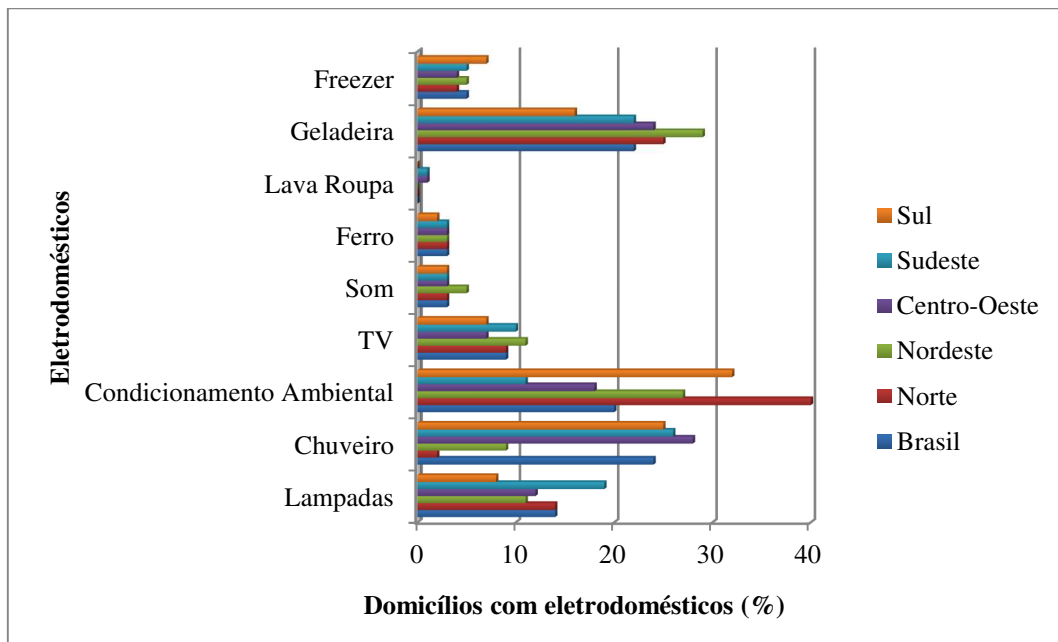
c) O setor residencial representa 9,4% do total de energia usada no Brasil, no ano de 2011 (Figura 1.3).



Fonte: Síntese Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2012c) adaptado.

Figura 1.3 - Consumo final de energia no Brasil por setor no ano de 2011.

d) Segundo a Eletrobrás (2007), a participação dos eletrodomésticos mais importantes no consumo médio domiciliar, em níveis nacional e regional, ocorre conforme mostra a Figura 1.4, aonde é possível observar a participação do condicionamento ambiental e a iluminação artificial nesse consumo.



Fonte: Eletrobrás (2007) adaptado.

Figura 1.4- Participação dos eletrodomésticos no consumo residencial do Brasil.

Diante desse cenário energético brasileiro, com as iniciativas citadas, é evidente a atual situação favorável ao fortalecimento do mercado de eficiência energética no Brasil(SOUZA et al.,2009). Como exemplo disto, o vigente Plano Nacional de Energia 2030, estabeleceu metas ambiciosas para reduzir a demanda energética nas edificações até o ano de 2030, em 9,6% (BRASIL, 2007).

Uma maneira de obter essa eficiência energética é por meio do aproveitamento da iluminação natural, que permite reduzir o tempo de uso da iluminação artificial. Porém, é preciso ter cuidado uma vez que o uso da luz natural em quantidades excessivas pode ocasionar aumento da carga térmica ou desconforto visual decorrente do ofuscamento e contraste. Tais problemas se agravam ainda mais nas edificações que se encontram em clima tropical, devido a grande disponibilidade de luz natural e grande incidência de radiação solar. Por isso, o dimensionamento das proteções solares deve promover aos usuários tanto o conforto térmico como o luminoso no ambiente interno (MARQUES; LEDER, 2012).

Para análise dos confortos térmico e visual de usuários em determinado ambiente, há duas normas que podem ser consideradas: a ASHRAE 55 *Standard - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy* (ASHRAE, 2010) e a NBR 5413 – Iluminâncias de interiores (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT,1992), esta última, foi usada neste estudo uma vez que a ISO 8995 – Iluminação de ambientes de trabalho – Parte 1: Interior (2013) não estava em vigor no momento da análise dos dados e, aborda ambientes de trabalho, que não é o foco deste estudo. A primeira norma, americana e referenciada pelos RTQs, estabelece uma zona de conforto térmico para determinadas condições ambientais e a segunda, uma norma brasileira, estabelece a iluminância mínima, de acordo com o tipo de ambiente e tarefa realizada.

O RTQ-R (BRASIL, 2012a) especifica requisitos e métodos para a classificação da eficiência energética de edificações residenciais, por meio da classificação parcial da envoltória e do sistema de aquecimento de água. A classificação da envoltória é realizada por tipo de espaço construído: unidade habitacional autônoma, edificações multifamiliares e áreas de uso comum de edificações multifamiliares ou condomínios horizontais. Uma pontuação indica o nível de eficiência, que varia do mais eficiente (A) para o menos eficiente (E). As proteções solares são avaliadas no método prescritivo pela variável denominada ‘somb’, para o cálculo do nível de eficiência da envoltória de ambientes de permanência prolongada de unidades habitacionais. Estudos, como os de

Pereira e Souza (2008) e Santos e Souza (2012), analisam os efeitos que o método de avaliação das proteções solares (brises) tem sobre o desempenho térmico da edificação, enfatizando os critérios e o método de cálculo dos ângulos de sombreamento das proteções solares adequados, a partir da temperatura neutra (T_n), a temperatura na qual a população encontra-se aclimatada, com atividade sedentária e em conforto.

2. JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TEMA

Em meio a uma realidade em que há uma busca crescente pela eficiência energética de equipamentos e edificações, a criação de novos regulamentos sobre este assunto é um forte aliado. Como exemplo, tem-se o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais, RTQ-R (BRASIL, 2012a). Por ter sido lançado recentemente, final do ano de 2010, há poucos estudos sobre sua aplicação, merecendo, portanto, maior atenção e estudo.

Desta maneira, o posicionamento adotado no presente estudo é o de se proceder como um meio de avaliação crítica do espaço construído, conforme definido no RTQ-R (BRASIL, 2012a), com foco nos requisitos das proteções solares fixas e, sua relação com o desempenho termoenergético alcançado, para fins de conforto térmico e visual do usuário em um ambiente residencial. Além disso, também foi possível avaliar qual o nível de conforto proporcionado pelo dimensionamento proposto pelo RTQ-R (BRASIL, 2012a), para as proteções solares de uma edificação padrão. Como elemento de bloqueio e desvio da radiação solar, Fiuza e Claro (2009) abordam a influência das proteções solares sobre a interação entre a carga térmica e a iluminação natural:

Os protetores solares são muito utilizados nos projetos de arquitetura, visto sua grande eficiência para atenuar o desconforto térmico causado pela incidência solar direta, porém o uso destes elementos influencia a iluminação de ambientes. [...] Robbins (1986) afirma que a composição arquitetônica da solução de proteção solar interfere nas condições de iluminação de ambientes, podendo ainda ser projetada de forma a auxiliar na admissão e distribuição do fluxo pelo ambiente. [...] eventualmente, quando utilizados elementos de proteção solar, pode-se prejudicar a distribuição de luz no ambiente, mesmo que reduzindo o ofuscamento pela radiação solar direta (FIUZA; CLARO, 2009, p.1321).

O método de análise do RTQ-R (BRASIL, 2012a), relativo às proteções solares, originado de estudos de Santos e Souza (2012) em edificações comerciais, foi desenvolvido baseado em condições externas, avaliou as temperaturas neutras e a

incidência de radiação solar, contudo sem avaliar as consequências sobre o ambiente interno.

Por fim, os resultados desta pesquisa poderão ser um meio de divulgação deste recente regulamento e as implicações das suas determinações, com base em dados reais.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo geral

Avaliar as indicações de eficiência das proteções solares do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais, RTQ-R, sob o aspecto de conforto térmico e luminoso em uma unidade habitacional multifamiliar representativa da cidade de Viçosa, MG.

3.2. Objetivos específicos

Foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos para o desenvolvimento deste trabalho:

- Selecionar uma unidade habitacional (UH) residencial representativa do edifício multifamiliar da cidade de Viçosa e medir as características construtivas e ambientais internas;
- Simular a influência das proteções solares, do tipo fixa, sobre o desempenho térmico e luminoso de ambientes de permanência prolongada da unidade habitacional selecionada;
- Determinar níveis de conforto do usuário para os ambientes simulados e,
- Avaliar o indicador de eficiência energética do sombreamento do RTQ-R com índices prescritos para confortos térmico e luminoso, conforme as normas: americana (ASHRAE *Standard* 55, 2010) e brasileira (NBR 5413, 1992).

4. ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é composto por seis capítulos. O Capítulo 1, como foi apresentado, expõe algumas questões relevantes para a caracterização do estudo, tais como o cenário atual no qual se insere a temática deste trabalho, a justificativa e relevância do tema e seus objetivos. Finaliza com a apresentação de um mapa conceitual dos procedimentos que estruturaram a pesquisa (Figura 1.5) e as limitações do trabalho.

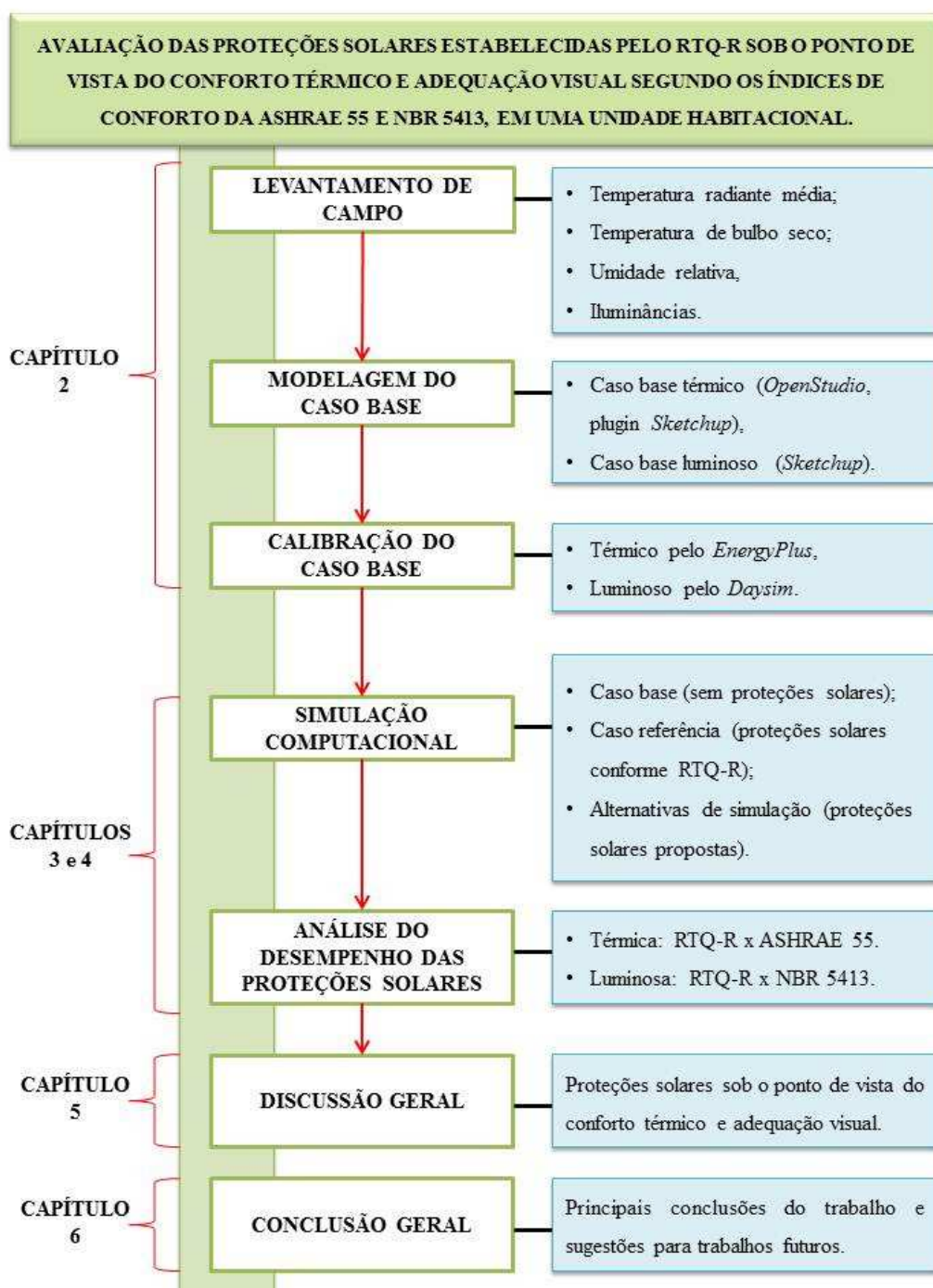


Figura 1.5- Mapa conceitual da dissertação.

O Capítulo 2 aborda o processo de criação e calibração dos modelos simulados pelo programa *EnergyPlus* e pelo programa *Daysim*, com base em um levantamento de campo cujos dados foram coletados em uma unidade habitacional multifamiliar de dois quartos, ocupada e ventilada naturalmente (casobase). O processo de calibração do modelo de iluminação natural foi realizado com a equipe do projeto, composta pela mestrande deste estudo e pela pesquisadora em iniciação científica de graduação Ligiana P.G. Fonseca, cuja participação também está presente no desenvolvimento da temática abordada no Capítulo 4.

O Capítulo 3 avalia o indicador de eficiência energética do RTQ-R ('somb') sob o aspecto do conforto térmico dos usuários em uma unidade habitacional ocupada e ventilada naturalmente. Tal análise é feita com uso do indicador de conforto térmico da norma americana ASHRAE *Standard 55* (ASHRAE, 2010), por meio da simulação pelo programa *EnergyPlus*. Além do casobase do Capítulo 2, que recebeu alterações ao longo do processo de calibração, foram criados modelos referenciais, baseados no caso base e nas indicações do RTQ-R, e alternativas de simulação, baseadas no casobase, porém com tipos variados de proteções solares.

O Capítulo 4 avalia o indicador de eficiência energética do RTQ-R (somb) sob o aspecto de conforto visual, por meio da simulação pelo programa *Daysim*. Esta análise é feita para os modelos utilizados no Capítulo 3, segundo critérios baseados na norma brasileira, NBR 5413 – Iluminância de Interiores (ABNT, 1992), que estabelece as iluminâncias mínimas conforme o tipo de ambiente e atividade realizada.

O Capítulo 5 faz uma discussão geral e comparativa dos resultados obtidos nas simulações térmica e luminosa, destacando as semelhanças e diferenças encontradas nas tipologias de proteção solar estudadas sobre o conforto do usuário.

Finalizando, o Capítulo 6 aponta as principais conclusões obtidas por meio deste estudo e apresenta sugestões para futuros trabalhos sobre a temática abordada.

5. LIMITAÇÕES DO TRABALHO

- As condições de uso do ambiente não foram controladas para levantar os dados para a calibração. Se, isto é positivo sobre um aspecto por verificar uma condição de uso

real, ela também impede que os pesquisadores simplifiquem as variáveis do modelo que não são de interesse para o estudo.

- Não foi possível medir a radiação solar horária local para inserir dados reais no arquivo climático da calibração do modelo de iluminação natural.
- A calibração do modelo de iluminação natural foi considerada satisfatória, porém não chegou a convergir com os dados medidos.
- As alternativas de simulação usadas na análise do ‘somb’ não foram avaliadas individualmente para verificar a correlação de subgrupos com o ‘somb’.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5413**: iluminâncias de interiores. Rio de Janeiro, 1992. 13p.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE – ANSI. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **Standard 55-2010**: thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta, 2010a.

BARDELIN, C.E.A. **Os efeitos do racionamento de energia elétrica ocorrido no Brasil em 2001 e 2002 com ênfase no consume de energia elétrica**. 2004. 112p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

BRASIL. **Lei n. 10.295, de 17 de outubro de 2001**. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União, 2001a.

BRASIL. **Decreto n. 4.059, de 19 de dezembro de 2001**. Regulamenta a Lei n. 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União, 2001b.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030**. Brasília, 2007. v. 11.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Portaria n. 372, de 17 de setembro de 2010**. Requisitos Técnicos da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). Rio de Janeiro, 2010.

BRASIL. Ministério de Minas Energia. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. Departamento de Desenvolvimento Energético. **Plano Nacional de Eficiência Energética**: premissas e diretrizes básicas na elaboração do plano. Acesso em: 01 mar. 2012. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/noticias/2010/PNEf_-Premissas_e_Dir._Basicas.pdf>.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Portaria n. 18, de 16 de janeiro de 2012**. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). Rio de Janeiro, 2012a.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Portaria n. 50, de 1º de fevereiro de 2013**. Requisitos de Avaliação da Conformidade para o Nível Eficiência Energética de Edificações (RAC). Rio de Janeiro, 2013.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional 2012**: ano base 2011 - relatório final. Rio de Janeiro, 2012b.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Síntese Balço Energético Nacional 2012**: ano base 2011 - relatório final. Rio de Janeiro, 2012c.

CASALS, X.G. Analysis of building energy regulation and certification in Europe: their role, limitations and differences. **Energy and Buildings**, v.38, p.381-392, 2006.

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S.A. - ELETROBRAS. **Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso**: ano base 2005 - classe residencial - relatório Brasil. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/data/Pages/LUMISA84BD56DPTBRIEGUEST.htm>>. Acesso em: 20 jan. 2013.

FIUZA, J.M.; CLARO, A. Influência de elementos de proteção solares horizontais aplicadas a aberturas laterais, na admissão e distribuição da luz natural. In: ENCONTRO NACIONAL, 10 E ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6, 2009, Natal. **Anais...** Natal: ENCAC, 2009.

MARQUES, F.M.S.; LEDER, S.M. Elementos de proteção solar no Campus I da UFPB. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14, 2012, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: ANTAC, 2012.

PEREIRA, I.M.; SOUZA, R.V.G. Proteção solar em edificações residenciais e comerciais – Desenvolvimento de metodologia. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12, 2008, Fortaleza, 2008. **Anais...** Fortaleza: ANTAC, 2008.

PÉREZ-LOMBARD, L.P.; ORTIZ, J.; POUT, C. A review on buildings energy consumption information. **Energy and Buildings**, v.40, p.394-398, 2008.

ROBBINS, C.L. **Daylighting, design and analysis**. New York: An Nostrand Reinhold Company, 1986. 325 p.

SORGATO, M.J.; LAMBERTS, R. Análise de sensibilidade dos parâmetros utilizados para a simulação computacional de ventilação natural, no desempenho térmico de uma edificação residencial unifamiliar. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14, 2012, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: ANTAC, 2012.

SOUZA, H.M.; LEONELLI, P.A.; PIRES, C.A.P.; SOUZA, V.B.; PEREIRA, R.W.L. Reflexões sobre os principais programas em eficiência energética existentes no Brasil. **Revista Brasileira de Energia**, v.15,p.7-26, 2009.

SANTOS, I.G.; SOUZA, R.V.G. Proteções solares no Regulamento Brasileiro de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. **Ambiente Construído**, v.12, n.1, p.227-241, 2012.

CAPÍTULO 2

CALIBRAÇÃO DE SIMULAÇÃO TÉRMICA E DE ILUMINAÇÃO NATURAL DE UMA UNIDADE HABITACIONAL EM EDIFÍCIO MULTIFAMILIAR

Resumo: As ferramentas computacionais de simulação de edificações possibilitam avaliar o impacto das alternativas de projeto quanto ao seu comportamento termoenergético e de iluminação. Dentre essas ferramentas, duas das mais conhecidas no Brasil são o *EnergyPlus* e o *DaySim*. O processo de calibração consiste em comparar resultados da simulação com valores de referência visando corrigir erros e reduzir incertezas do modelo. Este capítulo tem como objetivo validar um modelo computacional baseado em medições em uma unidade habitacional (UH) real. O método foi composto por duas fases: um levantamento de campo para medições das variáveis ambientais térmicas e luminosas, e a calibração. As análises foram realizadas por meio do erro quadrático médio (EQM) e pelo viés médio (viesM). Para o modelo térmico, com relação à temperatura radiante (T_r) e à temperatura de bulbo seco (TBS) não ocorreram mudanças significativas nos valores encontrados para o caso base, mas houve reduções sazonais e por ambiente avaliado. Já o EQM da umidade relativa (UR) da UH foi reduzido em 1%, com maior impacto nos EQMs sazonais e por ambiente. Quanto à calibração do modelo de iluminação natural, houve uma redução de 15,79% do EQM da UH em relação ao caso base. Por meio de uma simulação da UH dentro de uma caixa de vidro de alta transmitância solar (99%), com o intuito de se aproximar o máximo possível do ambiente externo. Foi comprovado que os EQM elevados ao fim da calibração foram decorrentes da radiação solar nos dias de medição estar consideravelmente superiores à radiação do arquivo climático usado na simulação.

Palavras-chave: levantamento de campo, simulação computacional, calibração, térmica, *EnergyPlus*, iluminação natural, *Daysim*.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, várias ferramentas computacionais de simulação termoenergética de edificações têm sido desenvolvidas, por meio das quais é possível avaliar o impacto de alternativas de projeto sobre o seu comportamento energético, térmico, acústico, de iluminação, entre outros. A simulação computacional é multidisciplinar, envolvendo áreas de arquitetura, engenharia mecânica, fenômenos comportamentais e de climatologia, e que por isso se destaca como uma importante ferramenta de avaliação energética (PEREIRA; GHISI, 2011).

Dentre essas ferramentas, um dos programas de simulação de edificações mais conhecidos no Brasil é o *EnergyPlus*, que é decorrente da união dos programas *BLAST* e *DOE-2*, usando o balanço de calor do *BLAST* e o cálculo de iluminação natural do programa *DOE-2* (ENERGYPLUS, 2013). O programa realiza simulações horárias (ou

em passos de tempo menores) usando o método do balanço térmico e realiza a análise das cargas térmicas decorrente dos fechamentos da envoltória, dos equipamentos, do sistema de iluminação, dos usuários e das trocas de ar (PEREIRA; GHISI, 2011). Dentre os dados que o programa *EnergyPlus* calcula para os edifícios condicionados naturalmente, têm-se as temperaturas internas e as trocas de calor. Já para os edifícios condicionados artificialmente, pode-se calcular a demanda de cargas de aquecimento e resfriamento para manter temperaturas de conforto, definindo o consumo energético dos sistemas (SORGATO; LAMBERTS, 2012).

Para a avaliação da iluminação natural no interior dos ambientes, há ferramentas de simulação que permitem a avaliação até mesmo de geometrias complexas. Uma delas é o programa *Daysim*, desenvolvido por Reinhart(2006), que por meio de arquivos climáticos calcula o perfil anual de iluminação interna. Programas de simulação como o *EnergyPlus* podem fazer a análise integral dos sistemas de iluminação natural, refrigeração e aquecimento, entretanto este apresenta limitações quanto ao algoritmo do sistema de iluminação natural, uma vez que superestima seus valores (DIDONÉ; PEREIRA, 2010).

Apesar da eficiência para avaliar um projeto antes mesmo da sua execução, ainda na fase de elaboração ser muito útil, estas ferramentas ainda são pouco utilizadas em escritórios de projetos. Alguns dos fatores que dificultam o seu uso pelos projetistas são: a complexidade das ferramentas, a necessidade de tornar mais clara a apresentação dos resultados ao usuário e de reduzir o tempo gasto tanto no processo de simulação quanto na etapa de modelagem e calibração dos modelos (WESTPHAL; LAMBERTS, 2005). Para melhor entendimento do processo de simulação térmica e luminosa, e da calibração, diversos estudos têm sido elaborados nos últimos anos, para fins de avaliação térmica, como os de Westphal e Lamberts (2005), Pereira e Ghisi (2011), Goffart e Wurtz (2011); e na avaliação luminosa, os estudos de Didoné e Pereira (2010) e Ramos e Ghisi (2010).

Segundo Westphal (2007, p.2), “*a calibração consiste no processo iterativo no qual o usuário ajusta os parâmetros de seu modelo para que o programa simule adequadamente o desempenho térmico e energético da edificação*”. Para isso, é preciso manipular diversas variáveis de entrada por meio de ferramentas de simulação detalhadas. Assim, o processo de calibração consiste em comparar resultados da simulação com valores de referência visando corrigir erros e reduzir incertezas do modelo. De fato, Goffart e Wurtz (2011) observaram como o uso de dados de entrada

imprecisos podem alterar os resultados finais da simulação, como por exemplo, um aumento significativo do sobreaquecimento em uma edificação modelada.

2. OBJETIVO

Apresentar os resultados do processo de modelagem e calibração térmica pelo programa *EnergyPlus* e calibração do modelo de iluminação natural pelo programa *Daysim*, ambos de uma unidade habitacional multifamiliar representativa da cidade de Viçosa (MG), a fim de validar um modelo computacional.

3. ASPECTOS RELEVANTES SOBRE CALIBRAÇÃO DE MODELOS PARA SIMULAÇÃO TÉRMICA E DE ILUMINAÇÃO NATURAL

Por meio da simulação computacional por programas, como *EnergyPlus* e *Daysim*, é possível avaliar o impacto de alternativas de projeto sobre o seu consumo energético, o que permite analisar uma grande quantidade de dados e fazer uma avaliação do desempenho termoenergético e luminoso das edificações (RAMOS; GHISI, 2010).

3.1. Calibração do modelo para simulação térmica

Westphal e Lamberts (2005) propõem uma metodologia de apoio para a etapa de calibração de modelos de edificações numa simulação termoenergética. Tal metodologia foi obtida a partir do uso de técnicas de análise de incertezas e sensibilidade dos dados de entrada dos modelos computacionais, pelo programa *EnergyPlus*. O ajuste dos dados de entrada são realizados sobre aqueles que se tem maior incerteza ou não foram definidos inicialmente no modelo e que, por isso, utilizaram-se de valores *defaults* (valores padronizados fornecidos pelo próprio programa) para dar início à simulação. Entende-se como ‘dados de entrada’, por exemplo, os valores relativos a geometria da edificação, as propriedades térmicas dos materiais, a potência de equipamentos elétricos, padrões de uso e ocupação da edificação. Raramente o projetista tem acesso a tais dados com precisão no início da modelagem e, posteriormente estes devem ser revistos a partir da observação dos primeiros resultados da simulação que diferem do real. Para avaliar o modelo na

calibração, os dados de saída mais usados são os de consumo de energia elétrica (horário, mensal e anual) e a temperatura interna (WESTPHAL; LAMBERTS, 2005). Os dados de entrada são usados pelos algoritmos dos programas de simulação para estimar trocas de calor entre o edifício e o meio externo, os ganhos de calor interno, a temperatura interna de cada zona térmica e o consumo de energia elétrica do edifício. A calibração é um processo subjetivo, que depende da experiência do simulador para obter a precisão desejada em pouco tempo e, exigem várias visitas à edificação simulada, quando já existente, ou verificação de dados na literatura. Por isso, requer um tempo considerável do projetista na simulação, o que pode desestimulá-lo (WESTPHAL, 2007).

O usuário de um programa de simulação deve conhecer as limitações do programa, e saber que os resultados obtidos podem ter erros em razão das fontes de incertezas. Assim, a análise de sensibilidade faz com que o usuário tenha mais conhecimento do impacto dos parâmetros mais influentes no desempenho termoenergético do modelo simulado. A análise de sensibilidade consiste em variar alguns parâmetros de entrada e observar os efeitos nos resultados, o que requer inúmeras simulações. Tal fato requer um tempo considerável, o qual o projetista de escritório não possui para sanar suas dúvidas por meio da simulação, sendo necessário, portanto, respostas rápidas. Uma dúvida que existe é qual o nível de detalhamento do modelo para uma análise de sensibilidade com precisão. Um modelo virtual pode ser considerado “preciso” quando considera todas as fontes e uso de energia da edificação, sendo a diferença máxima do simulado e medido do consumo total anual de 5% (WESTPHAL, 2007).

Num modelo virtual para a simulação horária do desempenho termoenergético de um edifício, Westphal (2007) cita como fontes de calor para o modelo: a condução de calor pelas paredes, cobertura e piso; a condução de calor e ganho térmico por radiação solar pelas janelas, ou seja, pelos vidros; a infiltração de ar externo ou perdas de ar interno; a geração de calor pelo sistema de iluminação artificial e demais equipamentos elétricos; e a geração de calor sensível e latente pelas pessoas. Salienta ainda, que seria possível reduzir a grande quantidade de dados de entrada, se os programas de simulação tivessem uma base de dados auxiliar, com bibliotecas contendo características de, por exemplo, materiais construtivos, equipamentos elétricos e padrões de usos mais comuns (WESTPHAL, 2007).

Como exemplos de calibração de um modelo a partir de dados de edificações existentes, podem-se citar os estudos de Pereira e Ghisi (2011) e Goffart e Wurtz (2011).

Pereira e Ghisi (2011) analisaram a influência que os materiais construtivos da envoltória das edificações têm sobre o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares, em uso e com ventilação natural. Antes da simulação efetiva para encontrar o número de horas em conforto e desconforto, foi necessário a calibração do modelo inicial. Para isso foram alterados alguns parâmetros, comparando-se os resultados da simulação com os dados medidos, a fim de obter um modelo de simulação o mais próximo possível da unidade real. Os autores fizeram a análise estatística de dados horários ao longo de um ano de temperatura do ar por meio do erro quadrático médio (EQM, em °C), que indica o erro absoluto entre as grandezas analisadas. O caso calibrado, no caso das simulações com ventilação natural, apresentou EQM de 0,6°C para sala e 0,7°C para os quartos.

Goffart e Wurtz (2011), que analisaram dois fatores de incertezas na simulação de edifícios eficientes, um relativo às proteções solares e outro à parâmetros de simulação como, por exemplo, o albedo. Para isso foram usados dados medidos e simulados, cujos fatores citados eram alterados para análise dos seus efeitos. Como resultado, identificaram-se erros na modelagem geométrica e uso de dados de entrada imprecisos, como os responsáveis por um aumento das horas de sobreaquecimento, o que evidenciou como as incertezas na simulação afetam os resultados quando se compara dados medidos e simulados. Há dois tipos de incertezas: as quantificáveis e as subjetivas. As incertezas quantificáveis se referem aos dados de entrada se foram definidos a partir de medições ou de catálogos de fabricantes. As incertezas subjetivas advêm de suposições feitas durante a simulação, sendo mais difíceis de identificar do que as quantificáveis e, que podem alterar significativamente os resultados. Entretanto, este tipo é raramente avaliado em análises energéticas. O modelo geométrico é o primeiro fator que pode gerar impacto na simulação: o próprio programa de modelagem usado pode induzir a erros, como por exemplo, a espessura da parede. Isto foi demonstrado com o modelo de casa geminada do estudo de Goffart e Wurtz (2011), simulado no *EnergyPlus*, cuja parede era na realidade de 35 cm. Eles compararam modelos com e sem as superfícies que delimitam a janela (inferior, superior e laterais), que representavam a espessura das paredes. Observou-se que o modelo que não considera a espessura real das paredes, ou seja, sem as superfícies que delimitam a janela,

apresentou temperaturas de 5 a 10% maiores do que o modelo com tais superfícies. Essa diferença em horas e dias de sobreaquecimento ao longo de um ano corresponde a 2050 horas (85 dias) de sobreaquecimento do modelo sem as superfícies citadas, para 962 horas (40 dias) para o modelo com as superfícies, ou seja, trata-se de uma diferença de 113%. Outro parâmetro alterado foi o albedo, de 0,2 para 0,4; com isso houve alterações de temperaturas do ar interno, principalmente nos meses de verão, em que para o albedo de 0,4 o sobreaquecimento foi de 2377 horas (99 dias), enquanto que para o albedo de 0,2 foi de 962 horas (40 dias), o que representa uma diferença de 147% nas horas com sobreaquecimento. Estudos como este evidenciam a importância do processo de calibração na simulação, a fim de minimizar o grau de incerteza do modelo. Mas há diversos outros fatores que devem ser analisados e melhor detalhados para evitar erros nos resultados da simulação e, assim, poder ter uma simulação mais confiável (GOFFART; WURTZ, 2011).

3.2. Calibração do modelo para simulação da iluminação natural

Em uma avaliação termoenergética de uma edificação, deve-se considerar também a iluminação natural, uma vez que esta interfere diretamente sobre a carga térmica e energética da edificação, assim como na economia de energia por iluminação artificial. O programa *EnergyPlus* permite a análise das trocas de calor e do ganho da iluminação natural pela abertura. Porém, estudos como os de Ramos e Ghisi (2010) e de Didoné e Pereira (2010), evidenciam as limitações que o programa possui com relação à avaliação da iluminação natural. Ramos e Ghisi (2010) fizeram a avaliação da iluminação comparando os resultados de iluminâncias difusas por meio de três programas: *EnergyPlus*, *Daysim* e *TropLux*, que possuem métodos de cálculos semelhantes, mas se baseiam em modelos de céu diferentes. Como resultado, observou-se que o programa *EnergyPlus* tem uma limitação de análise no cálculo da iluminância interna dependente da reflexão das superfícies internas, o que decorre, em geral, em menor incidência de luz direta no fundo de ambientes. Assim, a diferença das iluminâncias internas entre o *EnergyPlus* e os outros dois programas aumenta, o que interfere na avaliação energética posterior. Os autores realizaram, ainda, a avaliação da iluminância externa difusa, comparando-se as iluminância medida (real) e calculada. Essa análise foi feita por meio dos índices de viés médio (viesM) e o erro quadrático médio (EQM), comparando-se resultados obtidos para céu encoberto e céu claro.

Observou-se que ao analisar a iluminação difusa e direta, os maiores erros foram encontrados para o céu encoberto (RAMOS; GHISI, 2010).

Devido as limitações do *EnergyPlus*, o programa computacional recomendado para análise da iluminação natural é o *Daysim*, que foi desenvolvido pelo *National Research Council Canada*(NRCC), capaz de calcular as iluminâncias internas de um ambiente ao longo de um ano e usa arquivos climáticos com dados horários de radiação solar. O programa usa o modelo tridimensional do ambiente, que pode ser elaborado e importado de programas como o *Sketchup* e o *Ecotect*. Nesses modelos são definidas as propriedades ópticas das superfícies e por meio do arquivo climático são obtidos dados como: latitude, longitude e radiação solar (DIDONÉ; PEREIRA, 2010).

Embora a posição do sol na abóbada tenha uma trajetória definida, a nebulosidade é muito variável e, conseqüentemente, a radiação solar incidente na superfície da terra e a luminância do céu também são variáveis. Logo, o ideal seria medir as luminâncias da abóbada celeste, e assim calcular as iluminâncias no plano horizontal. Na falta de luminâncias presentes em arquivos climáticos, usa-se a radiação solar (DUFFIE; BECKMANN, 1980). Na ausência de estação para medir as luminâncias da abóbada celeste, a solução é medir as iluminâncias ou a radiação solar incidente no local. Esta última é mais desejada, mas ambas possibilitam a criação de uma referência da iluminância no ambiente interno em função da iluminância do ambiente externo imediato.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

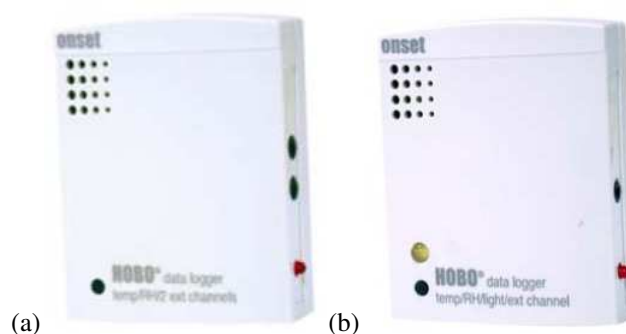
Os materiais usados e os métodos propostos compreendem o estudo do desempenho térmico e luminoso de uma unidade habitacional (UH) multifamiliar, que compreende desde medições *in loco* das variáveis ambientais para a simulação computacional térmica pelo programa *EnergyPlus*, e a simulação da iluminação pelo programa *Daysim*.

Os materiais usados neste estudo abrangem instrumentos de medição de variáveis ambientais térmicas e luminosas, conforme listados a seguir:

- Termômetro de globo negro: foi utilizado um globo negro de plástico com pintura preta que, conforme testes realizados por Valadão (2011) apresentou o mesmo efeito do globo negro metálico, o que permite o uso em maior número concomitantemente. Foram usados três termômetros de globo negro: um no centro de cada ambiente de

permanência prolongada (sala e dois quartos), a uma altura de 1,10 m que, segundo norma ISO 7726 (ISO, 1996), é adequada para as medições na posição sentada ou em pé;

- Registradores de temperatura de bulbo seco, umidade relativa e iluminâncias: da marca *Onset Computer Corporation*, registradores de temperatura do ar, umidade relativa do ar (Figura 2.1a) e iluminâncias (Figura 2.1b), no ambiente interno e externo. Foram usados no total, quatro registradores para medição da temperatura do ar e umidade relativa, e quatro para a medição das iluminâncias. As especificações técnicas deste equipamento estão descritas no Quadro 2.1.



Fonte: HOB0 *Onset Computer Corporation*.

Figura 2.1 - (a) Registrador de temperatura de bulbo seco e umidade relativa; (b) Registrador de iluminâncias.

Quadro 2.1 - Especificações técnicas do registrador

Resolução	Temperatura: 0,03° C até 25° C.
	Umidade Relativa: 0,03%.
Temperatura de operação	De -20° C a 70° C.
Faixa de medição	Temperatura de -20° C a 70° C.
	Umidade de 5% a 95%.
	Iluminâncias: 1 a 32.280,1 lx.
Precisão	Temperatura: +/- 0,35° C de 0° C a 50° C.
	Umidade Relativa: +/- 2,5% de 10% a 90%.

Fonte: HOB0 - *Onset Computer Corporation*.

- Anemômetro de fio quente: indicado para baixas velocidades. Foi usado apenas um equipamento para a medição nos três ambientes de permanência prolongada, cuja medição da velocidade do ar foi realizada no centro do ambiente, como sensor posicionado a 1,10 m do piso;
- Espectrômetro portátil modelo Alta II: para refletâncias das superfícies em comprimentos de onda entre 470 e 940 nm (região visível e a infravermelho). Foram coletadas as refletâncias da superfície das paredes internas, pisos e de alguns móveis com superfícies consideráveis para o modelo de iluminação natural, e para o modelo térmico. A partir destes dados foram calculadas as absortâncias.

Para o posicionamento dos equipamentos de medição, foram usados dois tipos de suportes (três unidades de cada um). No suporte 1 (Figura 2.2), posicionado no centro de cada ambiente de permanência prolongada (sala e dois quartos), foram fixados o termômetro de globo negro e o registrador de temperatura de bulbo seco e umidade. No suporte 2 (Figura 2.3) foi fixado o registrador de iluminâncias por meio de um suporte de isopor (que possui uma superfície escura – EVA preto – aonde se encaixou o registrador, a fim de evitar a interferência da luz pela base branca), que foi deslocado em cada ambiente ao longo dos nove pontos de medição.

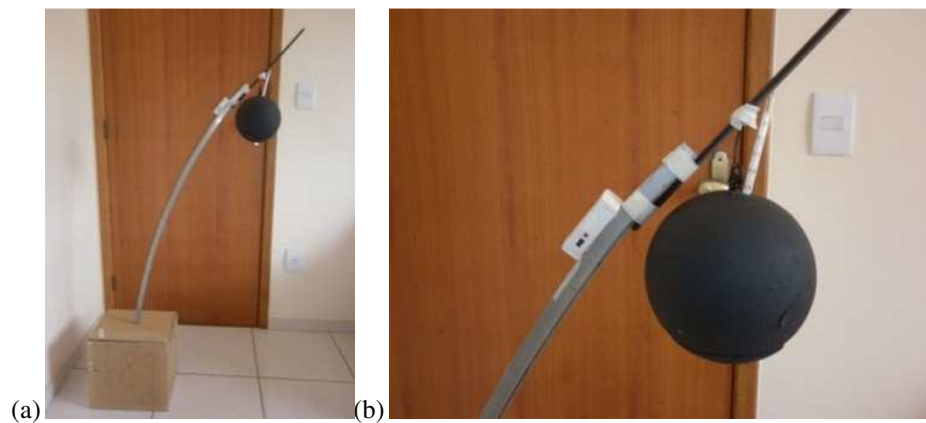


Figura 2.2- (a) Suporte 1; (b) Uso de canaleta plástica e fita adesiva para facilitar o posicionamento e a fixação dos equipamentos.



Figura 2.3 - (a) Suporte 2; (b) Material EVA preto ao redor do recorte onde se encaixa o registrador de iluminâncias.

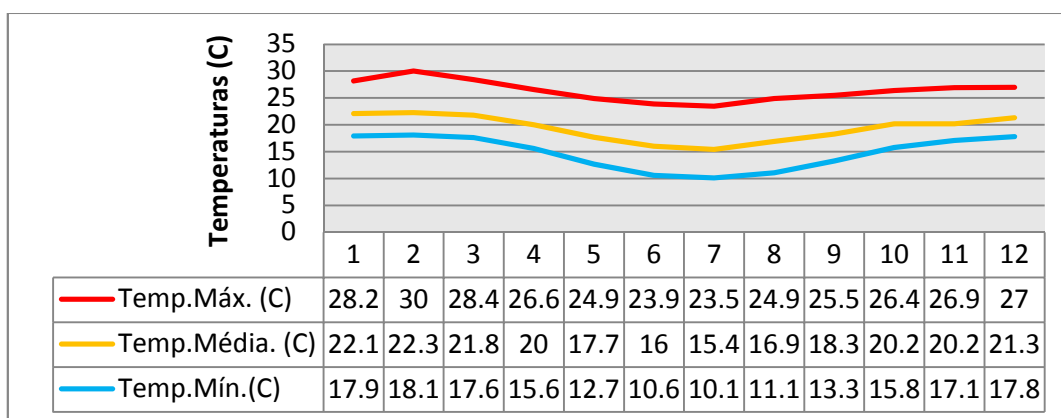
O método consiste basicamente de duas fases principais:

- 1ª Fase: estudo e levantamento de campo de uma unidade habitacional real, por meio da caracterização dos materiais, componentes da sua envoltória e do seu interior, e a medição de variáveis ambientais dos ambientes de permanência prolongada (sala de estar e dois quartos). As variáveis medidas foram: iluminâncias internas, umidade relativa, temperatura de globo negro, temperatura do ar e velocidade do ar, e posteriormente foi calculada a temperatura radiante média, conforme *ASHRAE Fundamentals Handbook* (2005). Os procedimentos de medição foram orientados pela ISO 7726 (ISO, 1996) para a térmica e NBR 15215-4 (ABNT, 2004c) para a iluminação, em três dias de monitoramento, correspondente a três estações do ano: inverno, primavera e verão.
- 2ª Fase: realização da calibração do modelo térmico por meio da simulação computacional pelo programa *EnergyPlus*, e calibração do modelo de iluminação natural pelo programa *Daysim*, a partir dos dados coletados na primeira fase, cujo modelo foi o casobase da unidade habitacional medida. Embora o programa *EnergyPlus* simule o ano completo, somente os dados gerados nos três dias do levantamento em campo foram utilizados no processo de calibração do modelo térmico e da iluminação. Para a calibração térmica, os dados externos medidos foram inseridos no arquivo climático TMY (*Test Meteorological Year*) de Viçosa, ano de 2005 a 2010 (GUIMARÃES; CARLO, 2011), nos dias correspondentes. Para calibração do modelo de iluminação natural, não foi possível obter radiação solar no

local; portanto, as iluminâncias externas simuladas foram comparadas com as medidas.

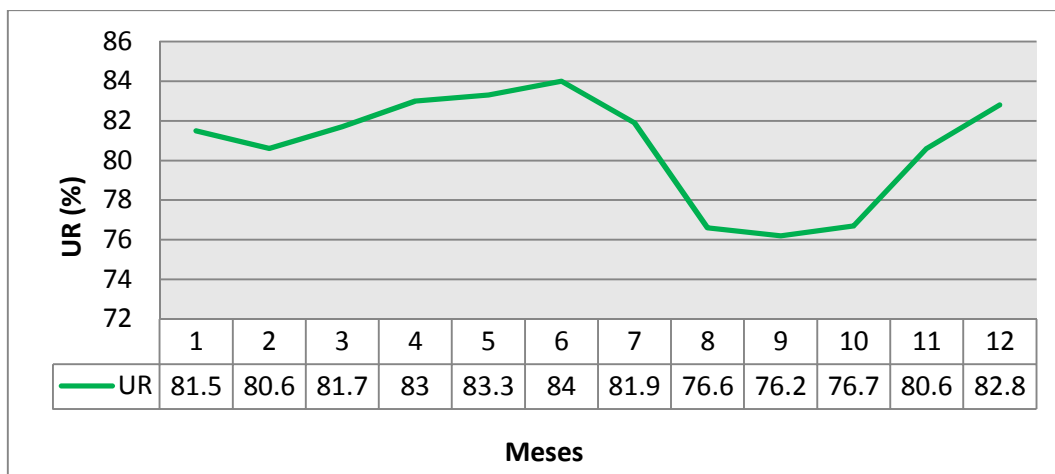
4.1. Caracterização da cidade de Viçosa, Minas Gerais

O objeto deste estudo foi uma unidade habitacional (UH) ventilada naturalmente em edifício multifamiliar localizado na cidade de Viçosa (MG), sudeste do estado de Minas Gerais, latitude 20,75°S, longitude de 42,88°O, 649 m acima do nível do mar. Segundo a NBR 15220 – Parte 3 (ABNT, 2004b), Viçosa está na Zona Bioclimática 3.O município possui 299,42 km², 72.220 habitantes e densidade demográfica de 241,20 hab/km², conforme dados de população do ano de 2010 (IBGE, 2010). De clima tropical de altitude, com verão chuvoso e temperaturas amenas com brusca variação diária, tem temperaturas mínimas mensais que variam de 10,1°C em julho a 18,1°C em fevereiro; temperaturas médias mensais entre 15,4°C em julho a 22,3°C em fevereiro, temperaturas máximas mensais de 23,5°C em julho a 30°C em fevereiro (Figura 2.4), e a umidade relativa varia de 76,2% em setembro a 84% em junho (Figura 2.5).



Fonte: Guimarães e Carlo (2011) - adaptado.

Figura 2.4- Temperaturas médias mensais de Viçosa, segundo arquivo climático de 2005 a 2010.



Fonte: Guimarães e Carlo (2011) - adaptado.

Figura 2.5 - Umidade relativa ao longo do ano para a cidade de Viçosa, segundo arquivo climático de 2005 a 2010.

4.2. Seleção da unidade habitacional

A unidade habitacional (UH) foi selecionada conforme indicações de Telles e Carlo (2012). A residência possui 38,4 m² de área construída, com dois moradores ocupando dois quartos, sala de estar, banheiro e copa/cozinha. As aberturas dos quartos estão localizadas em orientações diferentes: o quarto 1 para o nordeste, mesma orientação da sala, e o quarto 2 para o sudeste (Figura 2.6).

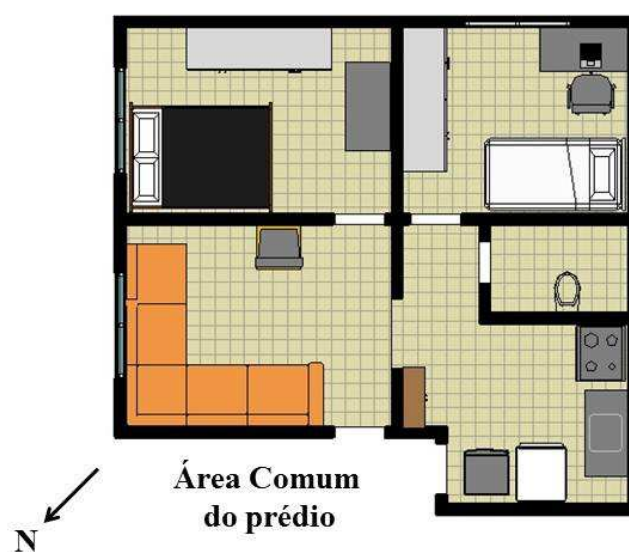


Figura 2.6 - Planta da unidade habitacional, com o mobiliário e as orientações das fachadas.

A tipologia da unidade habitacional usada neste estudo partiu do estudo de Telles e Carlo (2012), que identificou a unidade habitacional representativa do mercado imobiliário residencial da cidade de Viçosa, MG. A análise deu ênfase às edificações residenciais multifamiliares localizadas na área central da cidade e construídas nos últimos quatro anos. Foi feito o levantamento de 24 edifícios, totalizando 1.053 unidades habitacionais, os quais apresentaram a seguinte proporção de tipologias de unidade habitacional: 63,3% de um dormitório, 22,6% de dois dormitórios, 10,1% de três dormitórios e 4% de quatro ou mais dormitórios. Apesar da unidade habitacional de um dormitório ser a tipologia mais presente no cenário imobiliário da cidade de Viçosa, Telles e Carlo (2012) usaram para análise a tipologia de dois quartos, visto que a unidade de um quarto possuía apenas uma fachada voltada para o exterior, o que segundo o RTQ-R (BRASIL, 2012) impede obter o nível A, sendo necessário para tanto possuir duas fachadas voltadas para o exterior. Assim com o intuito de analisar uma unidade habitacional sob o ponto de vista da eficiência energética e de confortos térmico e luminoso dos seus usuários, adotou-se também neste trabalho a tipologia de dois quartos.

4.3. Descrição e caracterização da unidade habitacional

A unidade habitacional em estudo localiza-se no quarto andar de uma edificação de seis pavimentos em um terreno de esquina (Figura 2.7). Seu entorno possui edificações predominantemente de baixa altura e por essa razão possui ao seu redor uma área aberta com livre circulação dos ventos, cuja direção predominante é do nordeste.



Fonte: Google Maps editado. Acesso em: 19 mar. 2013.

Figura 2.7 - Vista aérea da edificação que contém a unidade habitacional em estudo.

A edificação está implantada com suas maiores fachadas orientada para nordeste e sudoeste, e os menores para noroeste e sudeste, mas como a UH está posicionado em apenas um lado da edificação (o lado sudeste), não apresenta fachada noroeste. Assim, para as suas três fachadas, que tem insolação para a UH considerada, apresentam os seguintes períodos de insolação (Quadro 2.2.).

Quadro 2.2- Período de insolação nas fachadas da unidade habitacional estudada

Fachada	Solstício de Verão	Equinócios	Solstício de Inverno
Nordeste	6h até às 12h	6h até às 13h	6h até às 14h
Sudeste	6h até às 12h	6h até às 10h	6h até às 9h
Sudoeste	12h até às 18h	14h até às 18h	15h até às 18h

4.4. Levantamento de campo

4.4.1. Procedimentos de medição de variáveis ambientais higrótérmicas

Os dados relativos às variáveis ambientais - temperatura radiante média (Tr), temperatura de bulbo seco (TBS) e umidade relativa (UR) – foram coletados no intervalo de 9h às 20h no inverno, primavera e verão, desconsiderando o horário de verão, nas datas de 20 de agosto de 2012 (inverno), 9 de outubro de 2012 (primavera) e 23 de janeiro de 2013 (verão). As datas são decorrentes da disponibilidade dos moradores e por isso, não foi possível realizar as medições em solstícios e equinócios. Foram identificadas as potências dos equipamentos e lâmpadas, bem como medida as refletâncias das superfícies, segundo Dornelles e Roriz (2007) e Santos *et al.*(2009).

Os registradores de temperatura do ar e umidade relativa foram programados para coletar dados de 15 em 15 minutos. Para as medições internas, estes foram posicionados no centro dos três ambientes de permanência prolongada, sala e dois quartos (Figura 2.8).

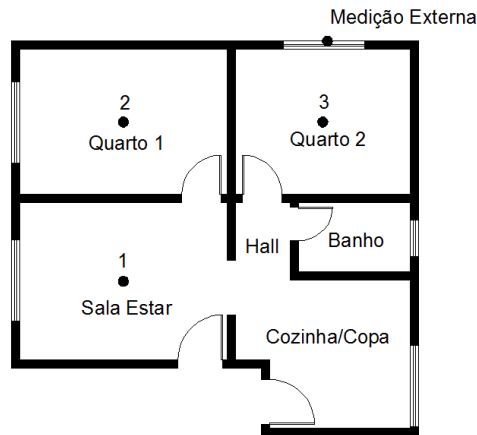


Figura 2.8- Malha de pontos para as medições das variáveis térmicas.

Para as medições externas, foram posicionados dois registradores para a coleta de TBS, UR (Figura 2.9), no centro do peitoril da janela do quarto 2, orientação sudeste, uma vez que o equipamento não poderia receber radiação direta.



Figura 2.9- Medições externas: registradores posicionados no centro do peitoril da janela do quarto 2.

4.4.2. Procedimentos de medição da iluminação natural

As medições de iluminação natural foram coletadas a cada duas horas, simultaneamente nos três ambientes, com início às 9h e encerramento às 17h, gerando no total por dia, cinco medições. Os registradores de iluminâncias foram posicionados

na altura de trabalho de 0,75 m por meio do suporte 2, descrito anteriormente e programados para coletar dados a cada 5 minutos, havendo assim a duração de cada medição de iluminação natural de 40 minutos, sendo o deslocamento do suporte com o registrador posicionado coordenado da seguinte forma: o suporte ficava durante dois minutos em cada ponto e no terceiro minuto já era deslocado para o ponto seguinte, e assim sucessivamente até percorrer os nove pontos de cada ambiente, totalizando 27 pontos dos três ambientes, conforme a malha de pontos representada na Figura 2.10.

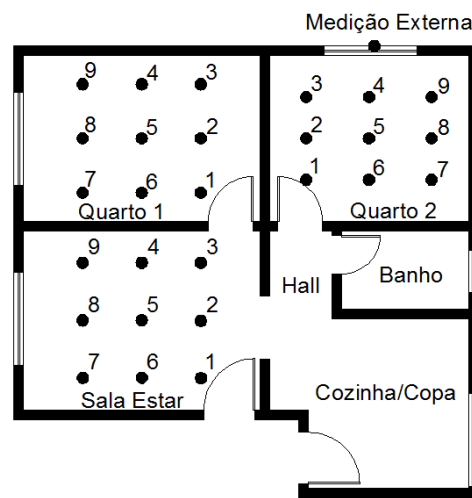


Figura 2.10 - Malha de pontos de medição das iluminâncias internas e externas.

Para medição das refletâncias dos materiais, que possuíam áreas significativas no ambiente¹(sofá, cama de casal) e que estavam acima da altura de trabalho 0,75 m do piso (portas, cortinas, armários) foi utilizado o equipamento espectrômetro ALTA II. A fim de evitar a infiltração indesejada de luz abaixo do equipamento, foi criado um suporte de isopor, contendo no contorno do recorte, aonde se encaixava o Alta II, material EVA preto.

Como havia usuários ocupando a UH durante as medições, não foi possível intervir na manipulação das aberturas e controle da ocupação dos ambientes, o que ficou a cargo dos moradores da residência. No entanto, todas as alterações ao longo do dia foram registradas (abertura e fechamento das janelas, vestimentas, acionamento de equipamentos, condição do céu, ocorrência de chuvas e ocupação dos ambientes), bem

¹ E que por isso poderiam influenciar nas reflexões da luz natural no ambiente interno.

como o horário de sua ocorrência. Não foi possível, apesar de desejável, medir a radiação solar no local para referência na avaliação da iluminação natural.

4.5. Procedimento de calibração

4.5.1. Modelo computacional térmico

Para a análise estatística dos dados medidos e simulados, utilizaram-se os índices de erro quadrático médio (EQM) e o viés médio (viesM).

O erro quadrático médio evidencia o erro absoluto entre as grandezas analisadas (Equação 1). Assim, quanto menor o EQM, mais próximos são os dados simulados dos dados medidos. O viés médio é usado para identificar qual a tendência que o modelo em estudo tem para superestimar ou subestimar os valores coletados (Equação 2). Caso o viesM seja positivo, os dados simulados são maiores que os dados medidos, e vice-versa. Ele não foi utilizado para identificar o grau de melhoria do modelo, mas para indicar as ações de calibração (característica da edificação ou parâmetros do modelo computacional/numérico) a serem adotadas na etapa seguinte.

$$EQM = \sqrt{\frac{\sum_i^N ((y_i - x_i) / x_i)^2}{N}} \quad (1)$$

$$viesM = \frac{\sum_i^N (y_i - x_i) / x_i}{N} \quad (2)$$

em que

EQM: erro quadrático médio, em porcentagem;

viesM: viés médio, em porcentagem;

Y_i = dado estimado (simulado);

X_i = dado medido *in loco*,

N = número de valores analisados, adimensional.

As variáveis analisadas por meio dos índices (viesM e EQM) foram: temperatura radiante média (Tr), temperatura de bulbo seco (TBS), umidade relativa (UR). O viesM e o EQM foram utilizados para três situações:

- Avaliação sazonal: o viesM e o EQM foram calculados por dia medido em cada estação, em cada ambiente e por variável (Tr, TBS e UR); o que gera 12 elementos, uma vez que para cada dia medido foram realizadas 12 medições no intervalo de 9h às 20h, a cada uma hora.
- Avaliação por ambiente: o viesM e o EQM foram calculados por ambiente e por variável (Tr, TBS e UR); sendo assim, cada viesM ou EQM foi calculado com um número total de 36 elementos (1 dia para cada uma das três estações medidas, com 12 horas de medição em cada dia).
- Avaliação por variável-total (unidade habitacional): o viesM e EQM foram calculados por variável (Tr, TBS e UR); logo, cada viesM ou EQM foi calculado com um número de 108 elementos (um dia para cada uma das três estações medidas, com 12 horas de medição em cada dia, para os três ambientes).

A calibração foi realizada de duas maneiras distintas: o processo paralelo e processo em série. No processo de calibração paralelo, as características que apresentavam incertezas foram ajustadas individualmente e casos de calibração² foram criados para análise individual de seus impactos no desempenho da UH. Depois de confirmado que os resultados da simulação aproximavam-se individualmente dos dados medidos - pela redução do EQM - todas as alterações foram incorporadas em uma única alternativa (Figura 2.11a). No processo de calibração em série, as características foram incorporadas gradualmente a cada caso que já continha uma melhoria no EQM pela inserção de uma característica em etapa anterior (Figura 2.11b)³.

² Casos de calibração: definidos neste trabalho como os modelos computacionais originados a partir do casobase, ou de outros casos que foram, por sua vez, originados do caso base, que tiveram alguma característica incorporada para verificação de redução no EQM.

³ Rosenfeld (1996) já discutia em 1996, o método de prioridade para incorporar gradualmente medidas de conservação de energia para otimização do modelo simulado, que se baseava na simulação individual de cada medida. Em seu estudo, entretanto, ele já tinha conhecimento das medidas que poderiam ser viáveis para elevar a eficiência do modelo. No caso de calibração, os resultados da etapa anterior são essenciais na definição da próxima medida razão pela qual os dois métodos foram avaliados.

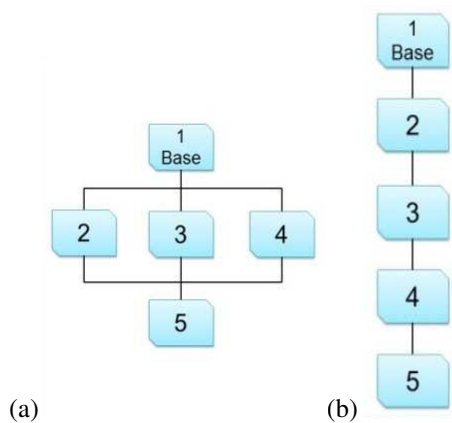


Figura 2.11- Dois processos de calibração: (a) paralela; (b) em série.

4.5.2. Modelo computacional de iluminação natural

Para ajudar na tomada de decisão sobre a próxima alteração a ser realizada no modelo, utilizaram-se os índices de erro quadrático médio (EQM) e viés médio (viesM), que foram calculados conforme Equações 1 e 2, respectivamente, descritas anteriormente. O EQM foi usado para determinar se a alteração efetuada no modelo seria incorporada ou não na seguinte simulação e o viesM foi usado como indicador de qual alteração deveria ser realizada na próxima simulação, uma vez que se apresentasse valor negativo indicava que o valor simulado era menor que o medido; assim, era possível definir, por exemplo, se era necessário aumentar ou reduzir as iluminâncias simuladas. Houve a avaliação do EQM e viesM por ambiente e pela UH.

Para obter, pelo programa *Daysim*, a iluminância interna oriunda apenas da iluminação natural em cada ponto da malha de pontos do ambiente, foi preciso fazer um cálculo em função da densidade de potência (W/m^2) de um sistema hipotético de iluminação artificial. Para o procedimento de cálculo, foi estabelecida uma potência para o sistema de iluminação de cada ambiente de $10 W/m^2$ e uma iluminância mínima interna necessária de $6000 lx$. A densidade de potência horária do sistema é $10 W/m^2$ quando não há luz natural, é zero quando a iluminância proveniente da luz natural é $6000 lx$ e é proporcional a esse intervalo quando a iluminância está entre 0 e $6000 lx$.

5. CASO BASE

5.1. Caso base do modelo térmico

O casobase para a simulação computacional térmica no *EnergyPlus* é ventilado naturalmente, composto por oito zonas térmicas internas (Figura 2.12), sendo cinco zonas correspondentes a cada um dos cinco cômodos do apartamento (Zona 1 à Zona 5). As outras quatro zonas correspondem aos ambientes que circundam a unidade habitacional: corredor do edifício (Zona Corredor), cozinha da UH vizinha (Zona Lateral), a UH vizinha do pavimento superior (Zona Superior) e a UH do pavimento inferior (Zona Inferior).

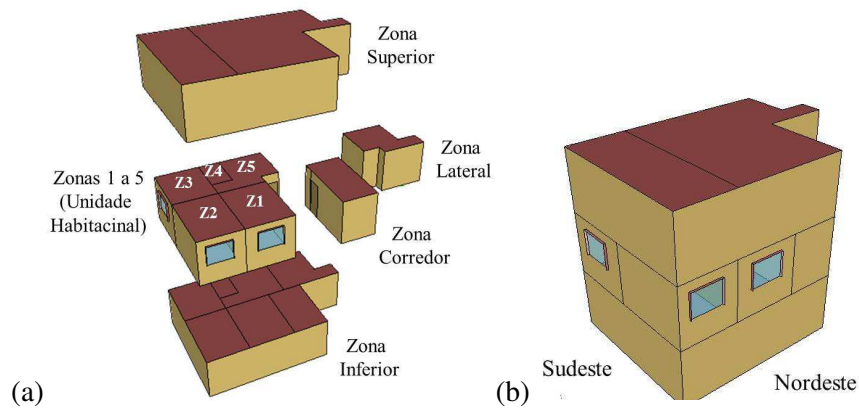


Figura 2.12- (a) As zonas térmicas do casobase, separadas para melhor visualização, (b) perspectiva da fachada sudeste e nordeste.

As cinco zonas térmicas da unidade habitacional (Figura 2.13) foram assim distribuídas: Zona 1 – Sala de Estar, Zona 2 – Quarto 1, Zona 3 – Quarto 2, Zona 4 – Banheiro e Zona 5 – Cozinha/Copa.

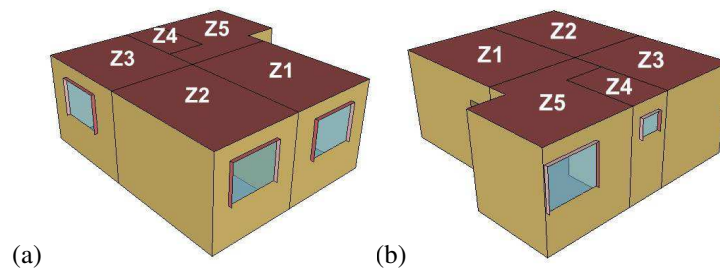
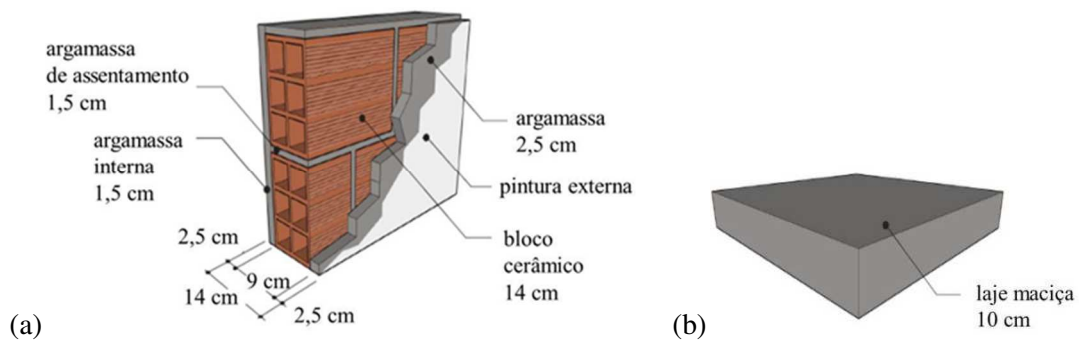


Figura 2.13- As respectivas zonas de 1 a 5 da unidade habitacional do casobase: (a) Fachadas sudeste e nordeste; (b) Zona lateral e fachada noroeste.

A edificação é construção recente, cerca de três anos, e considerou-se que sua envoltória é constituída, por paredes internas e externas de bloco cerâmico (9x14x24cm), argamassa e pintura clara(Figura 2.14a), conforme indicado por Telles e Carlo (2012). O piso da unidade foi considerado de espessura de 10 cm (Figura 2.14b), composto por três camadas: uma laje de concreto maciço (8 cm), contrapiso e piso cerâmico (2 cm). As janelas não possuem proteções solares e suas esquadrias são de alumínio, com vidros transparentes, duas folhas e bandeira, sendo que apenas uma folha se movimenta. As portas são compostas por duas camadas de painel de madeira de placa prensada e uma camada de ar de 2cm. Os dados das propriedades térmicas inseridas na modelagem (condutividade térmica, densidade, calor específico, absorvância para radiação solar) foram consultados nos seguintes documentos: NBR 15220 (ABNT, 2004a), Ordenes et al. (2003), Pereira (2009), catálogo de propriedades térmicas de paredes e coberturas (MORISHITA et al.,2011) e Telles e Carlo (2012).



Fonte: Catálogo de propriedades térmicas de paredes e coberturas (2011).

Figura 2.14 - Tipo de parede (a) e tipo de laje (b) da unidade habitacional.

Os ganhos internos, relativos à ocupação (Figura 2.15), equipamentos e iluminação, foram estabelecidos de acordo com o registrado nos três dias de medição, assim como o padrão de uso. A iluminação artificial foi utilizada apenas a partir das 18h nos dias de medição de inverno e primavera e no verão a partir das 19h, a lâmpada utilizada era do tipo fluorescente compacta de 127V e 20 W de potência. Os equipamentos elétricos considerados ligados durante as medições e suas respectivas potências foram: geladeira com potência média de 33 W, notebook 150 W, televisão 100 W e roteador de internet 6 W. A taxa metabólica dos ocupantes é para a sala de 108 W/pessoa, para os quartos de 81 W/pessoa e para a cozinha de 171 W/pessoa.

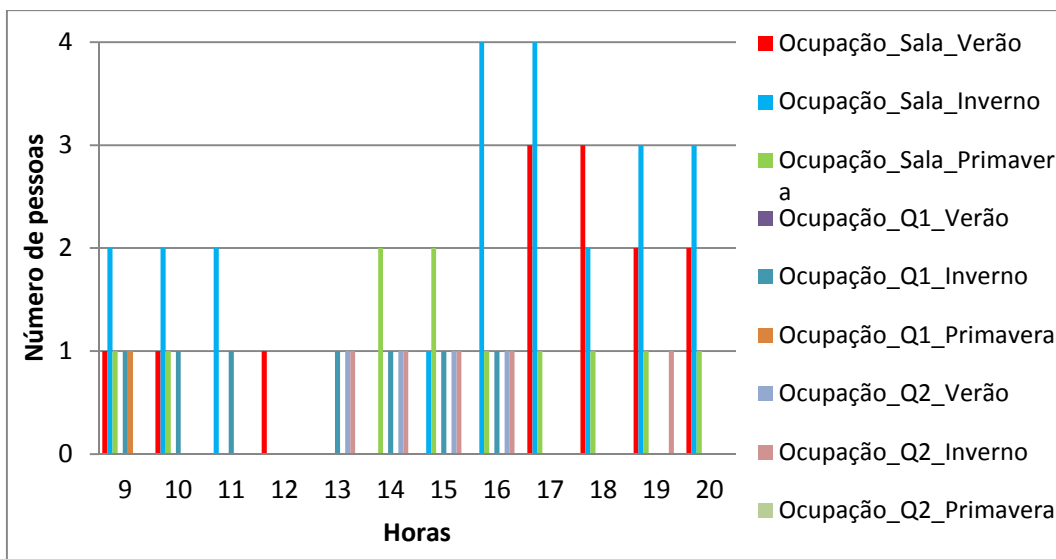


Figura 2.15- Padrão de uso de ocupação nos três dias de medições.

Os parâmetros de ventilação natural foram adotados conforme Sorgato e Lamberts (2012) e Versage (2009). O padrão de uso de ventilação pelas aberturas para os dias de medição nas estações de inverno (I), primavera (P) e verão (V) para as quatro zonas (Z1, Z2, Z3 e Z5), foi adotado conforme registrado no levantamento de campo (Quadro 2.3), onde 0 (zero) é fechado e 100 (cem) aberto.

Quadro 2.3- Padrão de uso de ventilação das aberturas nos dias de medição

Horas	Quarto 1 - Z1			Sala - Z2			Quarto 2 - Z3			Cozinha - Z5		
	I	P	V	I	P	V	I	P	V	I	P	V
9	0	100	100	0	100	0	100	100	100	30	0	30
10	0	100	100	0	100	0	100	0	100	30	0	30
11	0	100	100	0	100	0	100	0	100	30	0	30
12	0	100	100	0	100	0	100	0	100	0	0	100
13	0	100	100	0	100	90	0	0	100	0	0	100
14	0	100	100	0	100	90	0	0	100	0	0	100
15	100	100	100	0	100	90	0	0	100	0	0	100
16	100	100	100	0	100	90	0	0	100	0	0	100
17	100	100	100	0	100	90	0	0	100	30	0	100
18	100	100	100	0	100	90	0	100	100	30	0	100
19	100	100	100	0	0	90	0	100	100	30	0	100
20	100	100	100	0	30	90	0	100	100	30	0	100

Tais valores de ocupação, equipamentos e iluminação após a calibração do modelo, foram adotados os valores padrões para a simulação computacional final, os quais foram obtidos nos estudos de Sorgato (2009), Versage (2009), Pereira (2009), Telles e Carlo (2012) e na regulamentação do RTQ-R (BRASIL, 2012).

5.2. Casobase do modelo de iluminação natural

O modelo (Figura 2.16) possui cinco zonas de iluminação: Z1 – sala de estar, Z2 – quarto 1, Z3 – quarto 2, Z4 – banheiro e Z5 – cozinha. Suas principais características são: situado no nível térreo; valores *defaults* para os parâmetros de simulação⁴; não foram modeladas as esquadrias das janelas; os peitoris das janelas possuem refletância de 89% e os vidros transmitância de 85%; as superfícies dos ambientes possuem refletâncias de 89% para as paredes, 70% para os pisos e 95% para o teto; não foi modelado o edifício completo da UH estudada.

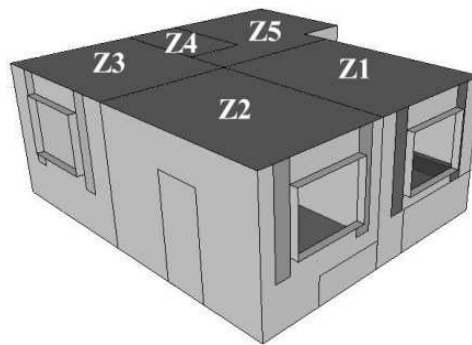


Figura 2.16- Modelo inicial para o processo de calibração do modelo de iluminação (casobase), com as respectivas cinco zonas.

A unidade habitacional se encontra no nível do solo, sem as opções que reproduzem os modelos comportamentais (*User Requirements and Behavior_mix of both*) para o acionamento da iluminação artificial pelo usuário ou para manejar as cortinas devido ao ofuscamento. A iluminação de um ambiente alcança o outro ambiente, uma vez que durante as medições as portas permaneceram abertas, com exceção das portas que dão acesso ao corredor da edificação. Logo, houve interação dos níveis de iluminação entre as aberturas internas.

⁴ Parâmetros de precisão da simulação que são variáveis de acordo com a geometria do modelo.

Após a modelagem da UH em estudo pelo programa *SketchUp*, foi realizada uma avaliação prévia das iluminâncias medidas *in loco* e das simuladas pelo programa *Daysim*. Este programa não indica as iluminâncias no plano horizontal externo. Para comparar as iluminâncias medidas e simuladas, o modelo computacional foi inserido em uma caixa de vidro, com alta transmitância luminosa (99%). Dessa forma, foi possível criar um ambiente interno cujos sensores do *Daysim* podiam captar a luz natural transmitida pela caixa de vidro, em quase a sua totalidade, simulando assim, um ambiente muito próximo do ambiente real. As iluminâncias externas foram obtidas e comparadas com as iluminâncias externas medidas *in loco*. A comparação foi realizada por meio dos índices de viesM e EQM com a média dos dados simulados de 30 dias⁵. Os resultados do caso base apresentaram EQM de 63,4% e viesM de -37%, o que evidenciou que as iluminâncias medidas eram maiores do que as geradas pelo programa a partir da radiação solar do arquivo climático. Consequentemente, percebeu-se uma tendência em subestimar as iluminâncias simuladas. Isto justificaria, portanto, os níveis elevados de erros encontrados no processo de calibração do modelo de iluminação, uma vez que já se inicia a calibração com valores elevados de EQM. Conclui-se também, que o arquivo climático utilizado nas simulações no *Daysim* apresentava dados de radiação solar maiores do que a dos dias de medição, o que se deve à variação dos níveis de nebulosidade ao longo do ano, o qual interfere na intensidade da radiação solar incidente em uma superfície.

Depois da análise prévia das iluminâncias, iniciaram-se as alterações das características do caso base, a fim de obter um modelo de simulação mais próximo possível da unidade real (menores diferenças entre as iluminâncias simuladas e medidas). Entre as características alteradas no caso base, pode-se citar, em resumo: modelagem das esquadrias das janelas e de seu entorno (telhado de edificação vizinha que ficava à frente da janela do quarto 2 e o edifício que contém a UH estudada), refletância das superfícies internas e a transmitância dos vidros das janelas. Além das refletâncias das superfícies (parede, piso e teto), também foram consideradas as refletâncias dos móveis que ocupam área significativa no ambiente, como sofá e guarda-roupas dos quartos.

As alterações realizadas em cada caso foram em função dos valores obtidos de EQM e viesM em cada simulação. Quando o valor de EQM reduzia, indicava que a

⁵ Sendo 15 dias anteriores e 15 dias posteriores à cada um dos três dias de medição, sendo um dia por estação estudada (inverno, primavera e verão).

alteração realizada era satisfatória no sentido de aproximar o modelo simulado da UH das características da UH real. Assim, tal alteração era incorporada ao caso seguinte de simulação. E se, o EQM aumentava, a alteração era descartada e buscava-se outra. Em seguida, era avaliado o viesM de cada ambiente, o qual indicava se as iluminâncias simuladas eram maiores ou menores que as medidas, e assim, decidir se era necessário reduzir ou aumentar, respectivamente, as refletâncias das superfícies do ambiente.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Calibração do modelo para a simulação térmica

Para a calibração térmica da unidade habitacional analisou-se o casobase, quanto às variáveis ambientais (Figuras 2.17 a 2.19): temperatura radiante média (Tr), temperatura de bulbo seco (TBS) e umidade relativa (UR). O EQM da Tr foi de 0,06, da TBS foi de 0,04 e da UR foi de 0,14. O viesM das três variáveis foram respectivamente 0 (zero), 0 (zero) e 0,03, o que indica que a Tr e a TBS tem distâncias simétricas entre o simulado e o medido, enquanto a UR apresenta dados simulados maiores que o medido.

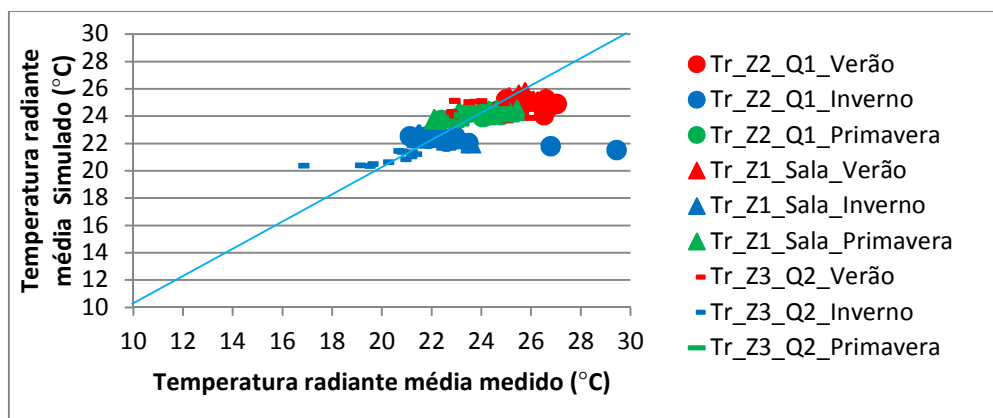


Figura 2.17- Temperatura radiante média dos ambientes de permanência prolongada para as três estações medidas.

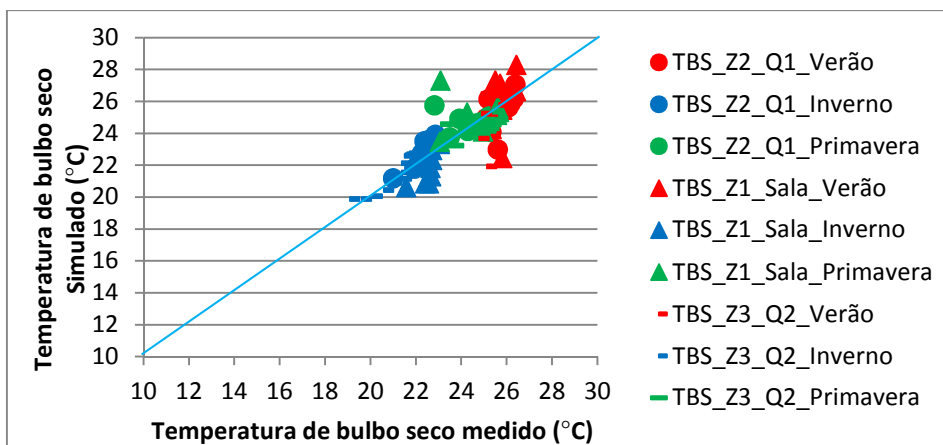


Figura 2.18- Temperatura de bulbo seco dos ambientes de permanência prolongada para as três estações medidas.

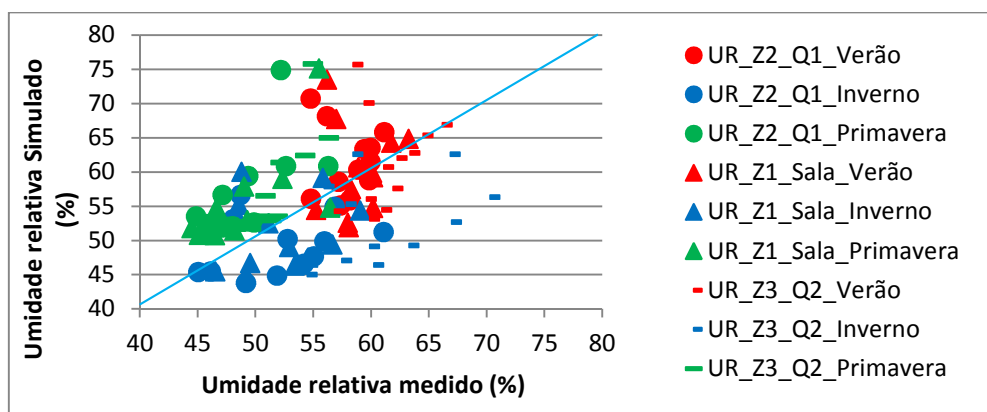


Figura 2.19- Umidade relativa dos ambientes de permanência prolongada para as três estações medidas.

Foram realizadas mais de 40 simulações no processo de calibração, cuja descrição de todas as alterações encontram-se no Apêndice A. Os casos cujos ajustes realizados indicaram uma redução no EQM e, portanto, suas características alteradas foram incorporadas nos subsequentes casos ao longo do processo de calibração, são apresentados no Quadro 2.4. Vê-se como poucas ações de fato reduziram as incertezas do modelo: mesmo que os resultados dos casos simulados fossem sensíveis às alterações, foi surpreendente como poucos ajustes melhoraram efetivamente o modelo.

Quadro 2.4- Casos cujos ajustes foram incorporados nas simulações subsequentes

Caso 1	Caso base
Caso 10	Aumento do Coeficiente de Descarga de 0,78 para 0,88 (+10%)
Caso 13	Redução da densidade e condutividade do tijolo da parede.
Caso 14	Alteração da densidade e condutividade da cerâmica de revestimento da fachada externa.
Caso 38	Inserção das absorvâncias medidas <i>in loco</i> do piso.
Caso 39	Inserção das absorvâncias medidas <i>in loco</i> das paredes internas.

As simulações dos casos do Quadro 2.4 foram executadas em paralelo e em série, conforme mostrado na Figura 2.20. Vê-se que os casos 10A e 10B são idênticos, e a partir deles os resultados da calibração se tornam diferentes. O caso 10, tanto no processo em paralelo quanto no em série, foi o primeiro caso que apresentou redução no EQM. Como o caso 13B do processo em série não teve redução no EQM, ele foi desconsiderado na modelagem seguinte, caso 14B, embora ele tenha indicado resultados positivos no processo em paralelo (13A). O mesmo ocorreu com o caso 38, que no processo em paralelo, o 38^a, apresentou resultados positivos, mas o mesmo não ocorreu no 38B. Assim, o melhor caso foi o 39C, por apresentar os menores EQMs, sendo este o caso calibrado.

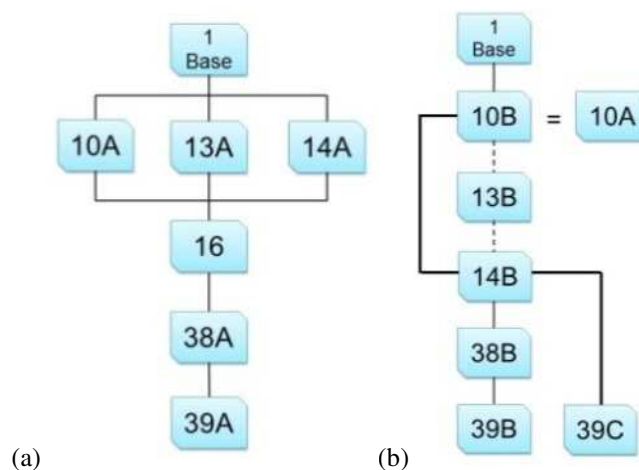


Figura 2.20- Processo em paralelo (a) e processo em série (b) realizados com os casos simulados que apresentaram êxito no processo de calibração.

Os EQMs das variáveis ambientais são apresentados nos seus três tipos de avaliação: sazonal, por ambiente e da unidade habitacional para cada variável nos Quadros 2.5 a 2.7. Estão assinalados na coloração vermelha os EQM que aumentaram com a alteração realizada e em verde os EQM que se reduziram, ou seja, respectivamente, aqueles que pioraram e aqueles que melhoraram, tanto para o processo em paralelo quanto para o processo em série. Dessa forma foi possível observar as diferenças existentes entre esses dois tipos de processo de calibração, como pode ser observado para o caso 13A e 13B (Quadro 2.7). Os valores do vies_M estão presentes no Apêndice B.

O processo de calibração em série mostra, no Quadro 2.7, que o caso 13B (10B + propriedade do tijolo) não apresentou resultados positivos (EQM da UR do quarto 1 no verão aumentou). Caso a calibração fosse realizada somente pelo processo em paralelo, erros seriam admitidos no caso seguinte sem haver efetiva melhoria, e esse erro seria acumulado até o final da calibração, o que ocorreu com o caso do 39A. Portanto, o processo de incorporação gradativa em série inclui as interações de desempenho decorrentes da inserção das novas características que o processo em paralelo desconsidera. Assim, a Figura 2.20b mostra uma correção que era esperada entre o caso 10B e o caso 14B, passando pelo 13B, que não foi de fato realizada: o processo em série determinou que a característica de alteração das propriedades térmicas do tijolo não poderia fazer parte do caso final. Os Quadros 2.5 e 2.6 mostram que o caso 39C, caso calibrado, o Tr e TBS não apresentaram mudanças de fato no EQM da UH, mas houve reduções no EQM por estação e por ambiente. O EQM da umidade relativa da UH reduziu em 1%.

Por meio da Figura 2.21, é possível observar as diferenças entre os EQMs dos dados simulados e medidos. Em geral, o processo de calibração é realizado com a TBS, como Pereira e Ghisi (2011) o fizeram. Nesse estudo, viu-se que a temperatura do ar (TBS), encontrada no caso 1 (casobase) e o caso 39C (caso calibrado) apresentou as características mais próximas às características da edificação real. Como exemplo, a Figura 2.21 apresenta apenas os dados de verão para todos os ambientes medidos (sala e dois quartos).

Quadro 2.5- Erro quadrático médio da temperatura radiante média (Tr) dos casos que apresentaram melhorias na relação dados simuladosx dados medidos, para as estações: inverno (I), primavera (P) e verão (V) para a unidade habitacional (UH) estudada

Erro Quadrático Médio - Temperatura radiante média (Tr)						
Casos	Ambientes	Sazonal			Ambiente	UH
		I	P	V		
1	Sala	0,04	0,04	0,03	0,04	0,06
	Quarto 1	0,10	0,03	0,05	0,07	
	Quarto 2	0,07	0,03	0,07	0,06	
10A=10B	Sala	0,04	0,04	0,03	0,04	0,06
	Quarto 1	0,10	0,03	0,05	0,07	
	Quarto 2	0,07	0,03	0,07	0,06	
13A	Sala	0,04	0,04	0,03	0,04	0,06
	Quarto 1	0,10	0,03	0,05	0,07	
	Quarto 2	0,07	0,03	0,07	0,06	
13B	Sala	0,04	0,04	0,03	0,04	0,06
	Quarto 1	0,10	0,03	0,05	0,07	
	Quarto 2	0,07	0,03	0,07	0,06	
14A	Sala	0,04	0,04	0,03	0,04	0,06
	Quarto 1	0,10	0,03	0,05	0,07	
	Quarto 2	0,07	0,03	0,07	0,06	
14B	Sala	0,04	0,04	0,03	0,04	0,06
	Quarto 1	0,10	0,03	0,05	0,07	
	Quarto 2	0,07	0,03	0,07	0,06	
16A	Sala	0,04	0,04	0,03	0,04	0,06
	Quarto 1	0,10	0,03	0,05	0,07	
	Quarto 2	0,07	0,03	0,07	0,06	
38A	Sala	0,05	0,03	0,03	0,04	0,06
	Quarto 1	0,10	0,03	0,05	0,07	
	Quarto 2	0,05	0,03	0,07	0,06	
38B	Sala	0,05	0,04	0,03	0,04	0,06
	Quarto 1	0,10	0,03	0,05	0,07	
	Quarto 2	0,08	0,03	0,07	0,06	
39A	Sala	0,08	0,05	0,02	0,06	0,06
	Quarto 1	0,09	0,03	0,04	0,06	
	Quarto 2	0,08	0,02	0,07	0,06	
39B	Sala	0,08	0,05	0,02	0,06	0,06
	Quarto 1	0,09	0,03	0,04	0,06	
	Quarto 2	0,08	0,02	0,07	0,06	
39C	Sala	0,09	0,06	0,03	0,06	0,06
	Quarto 1	0,09	0,03	0,03	0,06	
	Quarto 2	0,08	0,02	0,07	0,06	

Quadro 2.6- Erro quadrático médio da temperatura de bulbo seco (TBS) dos casos que apresentaram melhorias na relação dados simulados x dados medidos, para as estações: inverno (I), primavera (P) e verão (V) para a unidade habitacional (UH) estudada

Erro Quadrático Médio - Temperatura de bulbo seco (TBS)						
Casos	Ambientes	Sazonal			Ambiente	UH
		I	P	V		
1	Sala	0,04	0,06	0,05	0,05	0,04
	Quarto 1	0,03	0,04	0,04	0,04	
	Quarto 2	0,03	0,03	0,05	0,04	
10A=10B	Sala	0,04	0,05	0,05	0,05	0,04
	Quarto 1	0,03	0,04	0,04	0,04	
	Quarto 2	0,03	0,03	0,05	0,04	
13A	Sala	0,04	0,06	0,05	0,05	0,04
	Quarto 1	0,03	0,04	0,04	0,04	
	Quarto 2	0,03	0,03	0,05	0,04	
13B	Sala	0,04	0,05	0,05	0,05	0,04
	Quarto 1	0,03	0,04	0,04	0,04	
	Quarto 2	0,03	0,03	0,05	0,04	
14A	Sala	0,04	0,06	0,05	0,05	0,04
	Quarto 1	0,03	0,04	0,04	0,04	
	Quarto 2	0,03	0,03	0,05	0,04	
14B	Sala	0,04	0,05	0,05	0,05	0,04
	Quarto 1	0,03	0,04	0,04	0,04	
	Quarto 2	0,03	0,03	0,05	0,04	
16A	Sala	0,04	0,05	0,05	0,05	0,04
	Quarto 1	0,03	0,04	0,04	0,04	
	Quarto 2	0,03	0,03	0,05	0,04	
38A	Sala	0,04	0,06	0,05	0,05	0,04
	Quarto 1	0,03	0,04	0,04	0,04	
	Quarto 2	0,03	0,02	0,05	0,04	
38B	Sala	0,04	0,06	0,05	0,05	0,04
	Quarto 1	0,03	0,04	0,04	0,04	
	Quarto 2	0,03	0,02	0,05	0,04	
39A	Sala	0,04	0,06	0,05	0,05	0,04
	Quarto 1	0,05	0,04	0,04	0,04	
	Quarto 2	0,04	0,02	0,05	0,04	
39B	Sala	0,03	0,06	0,05	0,05	0,04
	Quarto 1	0,04	0,04	0,04	0,04	
	Quarto 2	0,04	0,02	0,05	0,04	
39C	Sala	0,03	0,06	0,05	0,05	0,04
	Quarto 1	0,05	0,04	0,04	0,04	
	Quarto 2	0,04	0,02	0,05	0,04	

Quadro 2.7 - Erro quadrático médio da umidade relativa (UR) dos casos que apresentaram melhorias na relação dados simulados x dados medidos, para as estações: inverno (I), primavera (P) e verão (V) para a unidade habitacional (UH) estudada

Erro Quadrático Médio – Umidade relativa (UR)						
Casos	Ambientes	Sazonal			Ambiente	UH
		I	P	V		
1	Sala	0,11	0,16	0,12	0,13	0,14
	Quarto 1	0,11	0,19	0,11	0,14	
	Quarto 2	0,16	0,15	0,11	0,14	
10A=10B	Sala	0,11	0,15	0,12	0,13	0,14
	Quarto 1	0,11	0,18	0,11	0,14	
	Quarto 2	0,16	0,15	0,12	0,14	
13A	Sala	0,11	0,15	0,12	0,13	0,14
	Quarto 1	0,11	0,18	0,11	0,14	
	Quarto 2	0,16	0,15	0,11	0,14	
13B	Sala	0,11	0,15	0,12	0,13	0,14
	Quarto 1	0,11	0,18	0,12	0,14	
	Quarto 2	0,16	0,15	0,12	0,14	
14A	Sala	0,11	0,15	0,12	0,13	0,14
	Quarto 1	0,11	0,18	0,11	0,14	
	Quarto 2	0,16	0,15	0,11	0,14	
14B	Sala	0,11	0,15	0,12	0,13	0,14
	Quarto 1	0,11	0,18	0,11	0,14	
	Quarto 2	0,16	0,15	0,12	0,14	
16A	Sala	0,11	0,15	0,12	0,13	0,14
	Quarto 1	0,11	0,18	0,12	0,14	
	Quarto 2	0,16	0,15	0,12	0,14	
38A	Sala	0,11	0,15	0,12	0,13	0,14
	Quarto 1	0,11	0,17	0,12	0,14	
	Quarto 2	0,16	0,14	0,12	0,14	
38B	Sala	0,11	0,15	0,12	0,13	0,14
	Quarto 1	0,11	0,18	0,12	0,14	
	Quarto 2	0,16	0,14	0,12	0,14	
39A	Sala	0,11	0,14	0,12	0,13	0,13
	Quarto 1	0,12	0,17	0,11	0,14	
	Quarto 2	0,16	0,14	0,12	0,14	
39B	Sala	0,11	0,14	0,12	0,12	0,13
	Quarto 1	0,12	0,17	0,11	0,14	
	Quarto 2	0,16	0,14	0,12	0,14	
39C	Sala	0,11	0,14	0,12	0,12	0,13
	Quarto 1	0,12	0,17	0,11	0,13	
	Quarto 2	0,16	0,14	0,12	0,14	

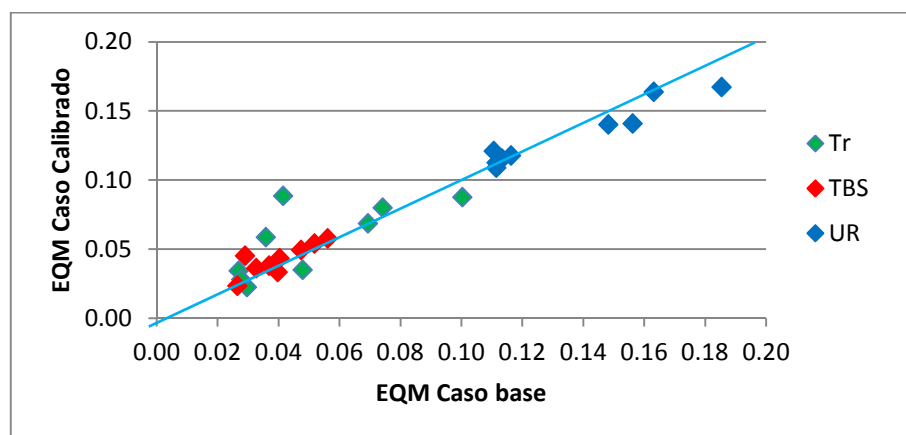


Figura 2.21- Erro quadrático médio (EQM) do caso base e do caso calibrado.

6.2. Calibração do modelo para simulação da iluminação natural

6.2.1. Iluminâncias externas simuladas e medidas

Foi realizada uma avaliação prévia das iluminâncias externas geradas pelo *Daysim*, comparando-as com as iluminâncias medidas *in loco*. Observou-se que os dados de iluminância gerados a partir da radiação solar do arquivo climático estavam menores que os medidos na UH. As diferenças resultaram em EQM de 63,35% e viesM de -36,99%, o que indica que as iluminâncias medidas são maiores que as simuladas, e evidencia que a calibração tradicional do modelo não terá como objetivo igualar ao máximo os dados simulados do medido, mas apenas aproximar mais os resultados simulados aos medidos. Assim, a calibração do modelo de iluminação natural será usada para reduzir os EQM com os ajustes do modelo de acordo com a sua sensibilidade.

6.2.2. Medidas de ajuste do modelo

O processo de calibração da simulação de iluminação natural gerou em torno de 22 simulações pelo programa *Daysim*, cuja descrição de todas as alterações encontra-se no Apêndice C. No Quadro 2.8 é descrita cada uma das medidas alteradas consecutivamente nos casos que foram incorporadas nas simulações seguintes.

Quadro 2.8- Alterações realizadas⁶ nos casos que foram incorporadas nas seguintes simulações

Caso base	Modelo inicial (Figura 27a).
Caso 1	Inserção do telhado de uma edificação do entorno localizada defronte à janela do Q2, refletância de 22% ⁷ (Figura 27b).
Caso 2	Elevou-se a UH para o nível real, 9 m acima do solo (Figura 28a).
Caso 4	Alterados alguns parâmetros de simulação ⁸ . Para os demais se manteve os valores <i>defaults</i> até então adotados.
Caso 5	Modelagem das esquadrias de alumínio das janelas com refletância de 60%, conforme indicado por Lambertset al. (2005, p.85) (Figura 28b).
Caso 6	Redução da refletância dos peitoris de 89% para 27%, que até então possuíam a mesma refletância da pintura das paredes do ambiente (89%).
Caso 7	Redução da transmitância do vidro das janelas de 85% para 70%.
Caso 10	Aumento da refletância do peitoril da sala de 27% para 95%, o mesmo valor da refletância dos azulejos das paredes da cozinha e do banheiro. Os demais continuaram com 27%.
Caso 11	Aumento da transmitância do vidro da janela da sala de 70% para 85% (igual CB). Os demais foram mantidos com 70%.
Caso 13	Aumento da transmitância do vidro da janela da cozinha de 70% para 85% (igual CB). Aumento da refletância do peitoril da cozinha de 27% para 95%. Redução da refletância das superfícies dos Q1 e Q2: parede de 89% para 75%, pisos de 70% para 60% e teto de 95% para 85%.
Caso 15	Aumento das refletâncias dos pisos da sala e da cozinha de 70% para 80%.
Caso 16	Aumento da refletância da parede da sala de 89% para 92%. Redução da refletância do piso do Q1 e Q2 de 60% para 55%. Aumento da refletância do piso da sala e da cozinha de 80% para 85%. Redução da refletância do teto do Q1 e do Q2 de 85% para 80%.
Caso 22	Modelagem das superfícies externas do edifício completo, sendo as refletâncias das paredes externas do edifício de 95% e o seu telhado de 22%. Redução da refletância do peitoril da sala e da cozinha de 95% para 40% (Figura 29).

⁶ As alterações realizadas tiveram como definidos em função dos valores encontrados na análise estatística, pelos índices de erro quadrático médio (EQM) e o viés médio (viesM), visando obter o caso que apresentasse menores valores de EQM e menores diferenças no viesM.

⁷ Este valor baseou-se no estudo de Roriz e Dornelles (2005), no qual é indicada para o concreto uma refletância de 24,9%. Considerando-se o aspecto de manutenção, devido à deposição natural de sujidades ao longo do tempo, houve uma redução na refletância original, e assim adotou-se 22%.

⁸ Conforme indicações para casos de menor complexidade (sem brises), de Reinhart (2006); assim, os valores adotados para os seguintes parâmetros de simulação foram: intervalos no ambiente (*ambient bounces*) = 5, divisão de ambiente (*ambient division*) = 1000, amostragem do ambiente (*ambient sampling*) = 20, precisão do ambiente (*ambient accuracy*) = 0,1, resolução do ambiente (*ambient resolution*) = 300, entrada direta (*direct threshold*) = 0 e amostragem direta (*direct sampling*) = 0 (REINHART, 2006, p.25).

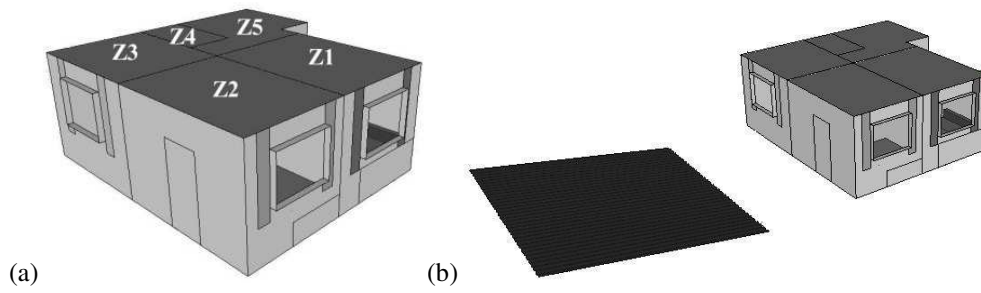


Figura 2.22- (a) Caso base, (b) Caso 1: inserção do telhado defronte ao quarto 2 (Zona 3).

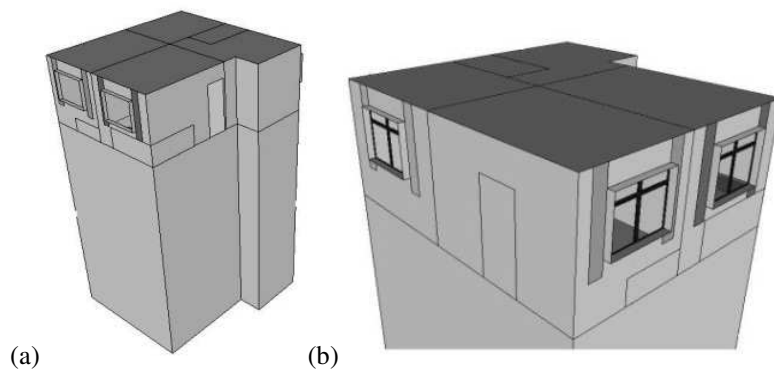


Figura 2.23 - (a) Caso 2: elevação da unidade habitacional ao nível real (9 m) e (b) Caso 5: modelagem das esquadrias de alumínio das janelas.

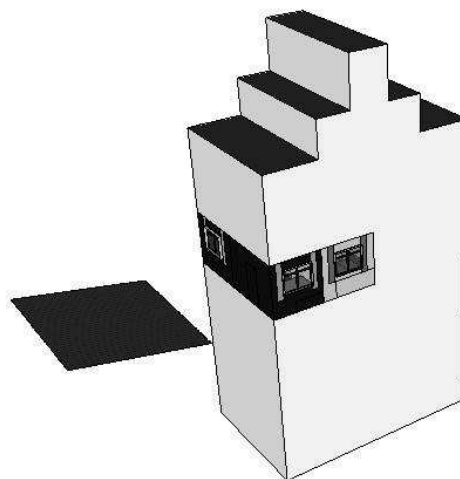


Figura 2.24 - Caso 22: modelo com as superfícies do edifício completo.

Para melhor entendimento das alterações feitas em cada caso simulado, foi elaborada o Quadro 2.9 que mostra as principais características de cada caso, evidenciando o que foi alterado (em verde), incorporado ou mantido entre uma simulação e outra.

O Quadro 2.10 contém os viesM e EQM dos casos simulados, cujas alterações foram incorporadas consecutivamente nas simulações seguintes. O viesM e EQM de todas as alterações realizadas encontram-se no Apêndice D.

Quadro 2.9- Características dos casos simulados com a indicação das alterações ocorridas em cada caso

Característica	CB-1	C1	C2	C4	C5	C6	C7	C10	C11	C13	C15	C16	C22	
Nível da UH	Térreo		Nível real (9m)											
Entorno	Não modelado	Telhado externo à janela do Q2 modelado com refletância de 22%												
Parâmetros de simulação	Defaults			Novos, conforme Reinhart (2006)										
Esquadrias	Não modeladas				Esquadrias com refletância de 60%									
Refletância do Peitoril	89%					27%		Sala 95% e os demais 27%		Cozinha e sala 95% e os demais 27%			Cozinha e sala com 40%	
Transmitância do vidro das janelas	85%						70%		Sala 85%	Sala e cozinha 85% e demais 70%				
Refletância das superfícies	Parede de 89%, piso de 70% e teto de 95%										Q1 e Q2:paredes (75%), pisos (60%) e teto (85%)	Pisos sala e cozinha (80%)	Superfícies externas com 95% e telhado com 22%	Sala: parede (92%), piso (85%) e teto (95%); Cozinha:parede (89%), piso (85%) e teto (95%); Q1 e Q2:parede (75%), piso (55%) e teto (80%)
Edifício que contém a UH estudada	Não												Sim	

Quadro 2.10 -Viés médio (viesM) e erro quadrático médio (EQM)com base nos dados medidos (M) e nos dados simulados (S) para os casos simulados na calibração, para a avaliação por ambiente (amb) e pela unidade habitacional (UH)

Caso	Ambientes	EQM		viesM	Diagnóstico
		Amb.	UH		
CB	Sala	51,46	63,83	-33,53	S < M
	Quarto 1	58,88		16,48	S > M
	Quarto 2	81,15		34,8	S > M
1	Sala	51,18	62,23	-33,82	S < M
	Quarto 1	59,51		16,91	S > M
	Quarto 2	76,01		29,44	S > M
2	Sala	51,36	61,55	-33,16	S < M
	Quarto 1	57,69		14,84	S > M
	Quarto 2	75,61		28,88	S > M
4	Sala	63,47	110,26	8,62	S > M
	Quarto 1	127,28		85,69	S > M
	Quarto 2	140,04		93,00	S > M
5	Sala	51,55	75,70	-15,98	S < M
	Quarto 1	82,17		41,26	S > M
	Quarto 2	93,38		48,05	S > M
6	Sala	50,83	74,8	-17,61	S < M
	Quarto 1	80,17		38,92	S > M
	Quarto 2	93,41		48,38	S > M
7	Sala	51,21	57,76	-34,28	S < M
	Quarto 1	57,36		12,27	S > M
	Quarto 2	64,72		16,4	S > M
10	Sala	50,49	60,24	-29,12	S < M
	Quarto 1	60,85		16,57	S > M
	Quarto 2	69,37		21,94	S > M
11	Sala	51,43	58,55	-19,94	S < M
	Quarto 1	58,61		14,31	S > M
	Quarto 2	65,59		17,44	S > M
13	Sala	51,69	48,24	-35,41	S < M
	Quarto 1	43,8		-11,77	S < M
	Quarto 2	49,22		-8,8	S < M
15	Sala	51,49	48,27	-34,26	S < M
	Quarto 1	43,95		-12,22	S < M
	Quarto 2	49,37		-8,69	S < M
16	Sala	51,17	47,86	-33,15	S < M
	Quarto 1	43,59		-13,86	S < M
	Quarto 2	48,82		-10,06	S < M
22	Sala	51,46	48,04	-35,17	S < M
	Quarto 1	43,75		-12,69	S < M
	Quarto 2	48,93		-10,75	S < M

Como resultado, o caso calibrado obteve EQM de 48,04%, tendo-se iniciado com EQM de 63,83%. Como o caso base já apresentava um EQM elevado (63,4%) e a impossibilidade da medição da radiação solar incidente no dia da medição (ao invés das iluminâncias), conforme discutido anteriormente, foi possível aceitar um caso calibrado com EQM relativamente elevado. Ao verificar apenas tais resultados, percebe-se que o EQM do caso base (CB) é mais próximo do EQM encontrado na avaliação das iluminâncias externas. No entanto, o EQM do quarto 2 (Q2) no caso base era bastante elevado, 81,15%, enquanto para os demais ambientes eram aceitáveis (51,46% e 58,88% para sala e quarto 1, respectivamente). A calibração foi utilizada para aproximar o EQM deste ambiente para a média encontrada para os demais ambientes no C22: EQM total de 48,04%, com parciais de 51,46% para a sala, 43,75% para o quarto 1 e 48,93% para o quarto 2. Tais melhorias são também observadas no viés médio quando analisado em conjunto com o EQM⁹. Assim, considerou-se que houve uma melhoria na modelagem ao longo do processo de calibração, cujo caso 22 foi considerado o caso calibrado final.

7. CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo evidenciaram a importância de registrar ao máximo possível as características da unidade habitacional estudada e de seu uso para o processo de calibração térmica e da iluminação, permitindo assim uma maior precisão na entrada dos dados.

Embora se saiba que a calibração em série é a mais indicada, a calibração em paralelo, mesmo que apenas para o caso base, pode ajudar a indicar as alterações a se fazer ao longo do processo em série. O método de Rosenfeld (1996) implica em maior precisão do resultado, mas é um longo processo, o que inviabilizaria a calibração. Neste estudo, a integração dos processos em paralelo e em série otimizaram o tempo despendido na calibração.

O processo de calibração do modelo térmico iniciou-se com um casobase cujos erros quadráticos médios da unidade habitacional foram 0,06 para a temperatura radiante média, 0,04 para a temperatura de bulbo seco e 0,14 para a umidade relativa. O caso calibrado apresentou os mesmos valores para a temperatura radiante média para a

⁹ Sabe-se que o viés Médio isoladamente não indica a precisão do modelo.

temperatura de bulbo seco, e uma redução de 1% para umidade relativa. Poucas alterações foram de fato efetivas na melhoria do modelo, embora os casos tenham sido sensíveis a elas. Acredita-se que o cuidado no registro de informações do levantamento inicial tenha auxiliado nesse processo. Os erros quadráticos médios sazonais e por ambiente foram determinantes na calibração, e detiveram grande parte da atenção ao longo do processo, devido ao fato do caso base já apresentar baixos erros quadráticos médios. Logo, o processo de calibração consistiu em um refinamento do casobase, a fim de garantir e constatar sua maior proximidade com as características da edificação real.

O processo de calibração do modelo de iluminação natural teve início com a análise das iluminâncias externas simuladas, que mostraram ser menores em relação às iluminâncias externas medidas. Esse fator foi determinante para que a interpretação da calibração fosse distinta a calibração do modelo térmico, ainda mais com a impossibilidade de medir a radiação horária local, uma das limitações do trabalho. O casobase, CB, apresentou erro quadrático médio da umidade relativa de 63,83%, com grandes variações entre os ambientes, e viés médio de 33,53% para a sala, 16,48% para o quarto 1 e 34,80% para o quarto 2. O caso calibrado, Caso 22, apresentou erro quadrático médio menor do que o caso base de 48,04%, com variações menores entre os ambientes avaliados. Assim, o Caso 22, foi o último caso simulado e considerado satisfatório como caso calibrado para a simulação de iluminação natural.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5413**: iluminâncias de interiores. Rio de Janeiro, 1992. 13p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15220**: desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2004a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15220-3**: desempenho térmico de edificações: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2004b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15215-4**: iluminação natural – Parte 4: verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – método de medição. Rio de Janeiro, 2004c.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE – ANSI. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **Fundamentals handbook**. Atlanta, 2005.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE – ANSI. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **Standard 55-2010**: thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta, 2010.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Portaria n. 18, de 16 de janeiro de 2012**. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). Rio de Janeiro, 2012.

DORNELLES, K.A.; RORIZ, M. Métodos alternativos para identificar a absorptância solar de superfícies opacas. **Ambiente Construído**, v.7, n.3, p.109-127, 2007.

DIDONE, E.L.; PEREIRA, F.O.R. Simulação computacional integrada para a consideração da luz natural na avaliação do desempenho energético de edificações. **Ambiente Construído**, v.10, n.4, p.1309-1354, 2010.

DUFFIE, J.A.; BECKMAN, W.A. **Solar engineering of thermal processes**. 2.ed. Wiley-Interscience, 1980.

ENERGYPLUS. **EnergyPlus engineering reference**: the reference to EnergyPlus calculations. Washington, DC: US Department of Energy, 2013.

GOFFART, J.; WURTZ, E. Impact and source of uncertainties in high efficiency building simulation: some samples. In: CONFERENCE OF INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION ASSOCIATION, 12, 2011, Sydney. **Proceedings...** Sydney, 2011.

GUIMARÃES, I.B.B.; CARLO, J.C. Caracterização bioclimática da cidade de Viçosa, MG. In: ENCONTRO NACIONAL, 11 E ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7, 2011, Búzios. **Anais...** Búzios: ENCAC, 2011.

HOBO. Temp/RH/Light/External Data Logger - Onset Computer Corporation.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Cidade**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 25 mar. 2013.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO. **ISO 7726**: instruments and methods for measuring physical quantities. 1996.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES – LABEEE. **Analysis Bio - versão 2.1.5**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.

LAMBERTS, R.; GHISI, E.; ABREU, A.L.P.; CARLO, J.C. **ECV 5161 –Desempenho térmico de edificações**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

MORISHITA, C.; SORGATO, M. J.; VERSAGE, R.; TRIANA, M.A.; MARINOSKI, D.L.; LAMBERTS, R. **Catálogo de propriedades térmicas de paredes e coberturas**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.

ORDENES, M.; PEDRINI, A.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. **Metodologia utilizada na elaboração da Biblioteca de Materiais e Componentes Construtivos Brasileiros para simulações no Visualdoe-3.1**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2003. (Relatório Interno).

PEREIRA, C.D. **A influência do envelope no desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ocupadas e ventiladas naturalmente**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

PEREIRA, C.D.; GHISI, E. The influence of the envelope on the thermal performance of ventilated and occupied houses. **Energy and Buildings**, v.43, p. 3391-3399, 2011.

RAMOS, G.; GHISI, E. Avaliação do cálculo da iluminação natural realizada pelo programa *EnergyPlus*. **Ambiente Construído**, v.10, n.2, p.159-169, 2010.

REINHART, C.F. **Tutorial on the use of Daysim simulations for sustainable design**. Ottawa: Institute for Research in Construction National Research Council Canada, 2006.

RORIZ, M.; DORNELLES, K. Identificação da absorvância solar de superfícies opacas a partir de imagens digitalizadas. In: ENCAC/ELACAC 2005, Maceió. **Anais...** Maceió: ENCAC, 2005.

ROSENFELD, A. Energy efficiency US commercial successful and emerging strategies. In: ENERGY EFFICIENCY WORKSHOP, 1996, Rio de Janeiro. **Proceedings...** Rio de Janeiro: CEPTEL, 1996. 11 p.

SANTOS, E.I.; MARINOSKI, D.L.; LAMBERTS, R. Influência do ambiente de medição sobre a verificação da absorvância de superfícies opacas utilizando um espectrômetro portátil. In: ENCONTRO NACIONAL, 10 E ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6, 2009, Natal. **Anais...** Natal: ENCAC, 2009.

SORGATO, M.J. **Desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ventiladas naturalmente**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

SORGATO, M.J.; LAMBERTS, R. Análise de sensibilidade dos parâmetros utilizados para a simulação computacional de ventilação natural, no desempenho térmico de uma edificação residencial unifamiliar. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14, 2012, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: ENTAC, 2012.

TELLES, C.P.; CARLO, J.C. Comparative analysis of energy efficiency and sustainable building certification in Brazil. In: CONFERENCE, OPPORTUNITIES, LIMITS & NEEDS TOWARDS AN ENVIRONMENTALLY RESPONSIBLE ARCHITECTURE, PASSIVE & LOW ENERGY ARCHITECTURE, 2012, Lima, Peru. **Proceedings...** Lima, Peru, 2012.

VALADÃO, J.B. **A avaliação do conforto térmico de uma biblioteca universitária pela ASHRAE Standard 55 e EN 15251.** 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

VERSAGE, R.S. **Ventilação natural e desempenho térmico de edifícios verticais multifamiliares em Campo Grande, MS.** 2009. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

WESTPHAL, F.S.; LAMBERTS, R. Building simulation calibration using sensitivity analysis. In: BUILDING SIMULATIONS, 9, 2005, Montreal. **Proceedings...** Montreal: IBPSA, 2005. p. 1331-1338.

WESTPHAL, F.S. **Análise de incertezas e de sensibilidade aplicadas à simulação de desempenho energético de edificações comerciais.** 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

CAPÍTULO 3

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO POR SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Resumo: As proteções solares têm sido importantes aliados na busca pela eficiência energética nas edificações, uma vez que ao reduzirem a incidência da radiação solar direta, favorecem o conforto térmico dos usuários e uma menor demanda de energia de resfriamento artificial. Após crises energéticas, surgem novas normativas e regulamentos visando maior eficiência energética das edificações e o conforto térmico dos usuários: para o primeiro tem-se o RTQ-R e para o segundo a *ASHRAE Standard 55*. Para a avaliação termoenergética, programas de simulação computacional, como o *EnergyPlus*, têm facilitado a análise dos impactos das decisões de projeto. Assim, o objetivo deste estudo é avaliar a influência das proteções solares sobre o desempenho térmico de ambientes de permanência prolongada de uma unidade habitacional ventilada naturalmente e sobre o conforto térmico dos seus usuários. O método foi composto por duas fases: proposição de proteções solares e modelagem para simulação térmica pelo *EnergyPlus*. Foram feitas análises do número de horas em conforto térmico e desconforto por frio e calor. Como principais resultados, verificou-se que as horas de desconforto por calor foram mais sensíveis às proteções solares; a relevância das proteções solares recomendadas pelo RTQ-R foram confirmadas por quantificação e não foi identificada correlação entre a variável ‘somb’ do RTQ-R e as horas em conforto térmico.

Palavras-chave: conforto térmico, proteções solares, RTQ-R, *ASHRAE Standard 55*, *EnergyPlus*.

1. INTRODUÇÃO

O início do século XXI foi marcado por diversas discussões sobre economia energética, decorrentes principalmente do aquecimento global e de suas consequências da crise energética mundial de 1973-1979 e, no Brasil, o racionamento de energia elétrica de 2001. Um dos desdobramentos dessas discussões é constatável na busca e incorporação crescentes de conceitos arquitetônico-constructivos relacionados à eficiência energética quanto ao uso de estratégias passivas de condicionamento ambiental. Uma das estratégias mais estudadas é a especificação dos materiais e características da envoltória do edifício baseada nas propriedades térmicas de interesse, de acordo com o clima do local. Estudos, como o de Pereira e Ghisi (2011) mostram a influência que as propriedades térmicas da envoltória de uma edificação com ocupação e ventilação natural têm sobre o seu desempenho térmico. No Brasil, desde a década de 1980 pesquisadores discutem o desenvolvimento e a implantação de um método de

avaliação do desempenho térmico de edificações brasileiras. Dentre as normas sobre este assunto, em vigor, existem a NBR 15220 – Desempenho térmico de edificações (ABNT, 2004) e a NBR 15575 – Edifícios Habitacionais - Desempenho (ABNT, 2013).

Nessa busca pela racionalização energética da edificação e conforto, as proteções solares são importantes aliados, uma vez que, ao reduzir a incidência de radiação solar direta, elas reduzem as cargas térmicas da edificação, e conseqüentemente reduzem a necessidade de resfriamento artificial. Além disso, elas reduzem o desconforto visual decorrente do ofuscamento.

Dornelles e Roriz (2007) afirmam que a incidência da radiação solar representa uma das principais fontes de calor de uma edificação, em especial nas regiões tropicais e de baixas latitudes. o que interfere no conforto térmico do usuário em um ambiente interno. Assim, o meio natural mais eficiente para reduzir os ganhos de calor é pelo controle da radiação solar ou pela redução do calor absorvido pela superfície externa da edificação. Para o primeiro caso, as proteções solares são importantes aliadas, enquanto a baixa absorvância dos materiais da envoltória; são para o segundo. Vale salientar que as proteções solares, ao controlarem a incidência da radiação solar direta, favorecem o conforto térmico e podem propiciar, ainda, o conforto visual e/ou acústico.

Para uma avaliação termoenergética, o Programa Brasileiro de Etiquetagem Edifica é composto pelos Requisitos Técnicos da Qualidade para a Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) e pelo Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R), que referenciam normas internacionais de conforto térmico como a ASHRAE *Standard 55* (ASHRAE, 2010) e a norma nacional de desempenho térmico, NBR 15220 (ABNT, 2004).

A ASHRAE *Standard 55* (ASHRAE, 2010), norma norte-americana, define as combinações de fatores ambientais térmicos internos e fatores humanos que produzem condições ambientais térmicas aceitáveis para a maioria dos ocupantes em um espaço. Foi publicada pela primeira vez em 1966 e desde 2004 tem sido revisada e atualizada continuamente. Já a NBR 15220 (ABNT, 2004), norma brasileira, trata do desempenho térmico de edificações. O RTQ-R (BRASIL, 2012) foi lançado em 2010 e nele, dentre os requisitos para alcançar os níveis de eficiência energética para envoltórias de unidades habitacionais, há um método específico para a avaliação das proteções solares consideradas eficientes. O método baseia-se nas temperaturas neutras do ar e nos níveis padrão de radiação solar direta incidente em uma abertura vertical, como janela, e

fornece um dimensionamento “ideal” das proteções solares, em função de sua geometria, de acordo com a construção de máscaras de sombreamento (BRASIL, 2012). Já o RTQ-C (BRASIL, 2010) contém um método de avaliação de proteções solares em função do zoneamento bioclimático, baseado em simulações termoenergéticas.

Na análise termoenergética de uma edificação, o uso de programas de simulação tem facilitado muito a análise dos impactos das decisões de projeto, principalmente na avaliação do desempenho energético de uma edificação, devido a sua complexidade, envolve variáveis interdependentes e conceitos multidisciplinares. Desde a década de 1980, o Brasil vem usando programas de simulação do exterior, a partir de então, alguns grupos de pesquisa de universidades e institutos de pesquisa brasileiros, têm-se destacado com atividades relativas à eficiência energética em edificações envolvendo simulação computacional, com destaque para a IBPSA-Brasil, Associação Brasileira para a Simulação do Desempenho de Edificações, afiliada à organização internacional, IBPSA (MENDES et al., 2005). Atualmente, estão listados 345 programas de simulação no *Building Energy Tools Directory*, sítio eletrônico do Departamento de Energia dos EUA que contém as informações sobre as principais ferramentas disponíveis (DIDONE; PEREIRA, 2010). Entre os programas, pode-se citar o *EnergyPlus*, para análise termoenergética, e o *Daysim*, para análise da iluminação, natural e artificial.

2. OBJETIVO

Avaliar a influência das proteções solaresfixas no desempenho térmico de ambientes de permanência prolongada de uma unidade habitacional e, sobre o conforto térmico dos usuários desta unidade habitacional residencial multifamiliar, ventilada naturalmente.

3. REVISÃO DE LITERATURA

Esta seção apresenta uma revisão de literatura, como meio de fundamentação teórica para o desenvolvimento deste trabalho. Foram abordados temas relativos ao desempenho térmico das edificações, normas e regulamentos de desempenho térmico da edificação e conforto térmico do usuário, e simulação computacional térmica pelo programa *EnergyPlus*.

3.1. Desempenho térmico

Desempenho térmico do edifício é o comportamento térmico submetido às condições climáticas externas e cargas internas. O uso dos recursos naturais locais, tais como aberturas com proteções solares orientadas para os ventos predominantes e o aproveitamento da iluminação natural, proporcionam considerável redução no consumo energético. O conforto térmico depende de variáveis ambientais locais (como radiação solar, temperatura do ar, velocidade do ar), do projeto arquitetônico (como implantação, escolha dos materiais, presença ou não de proteção solar) e fatores pessoais dos usuários (como atividade desenvolvida, vestimenta, idade) (CASTRO; LEADER, 2011).

Para avaliar o impacto da radiação solar incidente sobre o ambiente interno, torna-se necessário determinar as variáveis ambientais (como por exemplo, temperatura do ar e umidade) e construtivas (como as propriedades radiantes, absorvância e refletância). A propriedade absorvância solar é o quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície; a refletância é a razão entre a radiação solar refletida e a radiação solar incidente, podendo a superfície absorver ou refletir mais ou menos radiação de acordo com a cor e textura (CASTRO et al., 2003; ABNT, 2004). Tais propriedades, absorvância e refletância, assim como as decomposições possíveis da radiação incidente (R_i) podem ser entendidas como mostra a Figura 3.1.

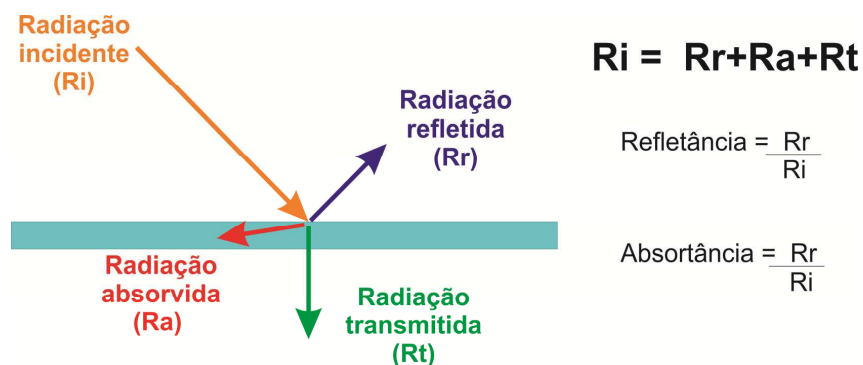


Figura 3.1- Radiação solar e suas decomposições ao incidir em uma superfície.

Quanto à absorção, Dornelles e Roriz (2007) apresentam dados de absorvância solar para diferentes cores e tipos de tintas utilizadas em superfícies opacas de

edificações no Brasil, cujos valores foram obtidos por meio de medições de refletância com espectrofotômetro e por medições de temperaturas superficiais de amostras. Salienta ainda que, apesar da importância significativa do parâmetro sobre o conforto térmico, falta no mercado o fornecimento de dados destas em catálogos técnicos e comerciais. A cor, na sua grande maioria, é usada apenas sob o seu aspecto visual e psicológico (DORNELLES; RORIZ, 2007), enquanto os parâmetros físicos de reflexão ou absorção são explorados instintivamente pelos profissionais, sem quantificação em relação à radiação, tampouco em relação ao conforto proporcionado.

Segundo Gutierrez e Labaki (2011), dispositivos de proteção solar são:

[...] elementos que interceptam os raios solares, reduzindo a admissão da radiação solar incidente para o ambiente interno, e dessa maneira minimiza o aporte de calor solar através da envoltória da edificação, principalmente nas aberturas e superfícies transparentes ou translúcidas (GUTIERREZ; LABAKI, 2011, p.3).

Dessa forma, as proteções solares atuam no controle do ganho de calor solar e da luz natural, devido ao sombreamento das superfícies por eles protegidos, e dependem fundamentalmente da orientação da fachada.

Estudos como os de Mehrotra (2005), Sorgato (2009) e Nielsen, Svendsen e Jensen (2011) têm abordado os fatores que interferem no desempenho das proteções solares como orientação, profundidade, tipologia da proteção e área da abertura.

Mehrotra (2005) mostrou com seus estudos que quanto maior a profundidade da proteção solar menor era a temperatura do ar interno. Sorgato (2009) simulou, com o programa *EnergyPlus*, qual a influência da área de superfície exposta ao exterior e do tamanho dos ambientes, sobre o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ventiladas naturalmente, sem interferência do usuário (ventilação seletiva). O objetivo era entender qual a correlação entre os graus-hora e as propriedades térmicas da envoltória. Conseguiu quantificar o grande impacto que a transmitância e a absorvância da cobertura tem sobre o desempenho da edificação, o que originou o método prescritivo do RTQ-R.

Nielsen, Svendsen e Jensen (2011) abordaram a relação entre proteção solar e iluminação natural e, enfatizaram que a escolha da fachada muitas vezes é contraditória devido às interdependências dos parâmetros de análise. Para analisar as fachadas quanto ao desempenho total de energia, demanda energética individual de aquecimento, refrigeração e iluminação natural, avaliaram um escritório localizado na Dinamarca (com clima consideravelmente frio). Foram feitas simulações integradas, com variações

de parâmetros e, usando três tipos de sombreamento solar: sem proteção, com proteção móvel e com proteção fixa. Resultados mostraram que as intervenções móveis eram mais adequadas para este caso, devido ao seu potencial de reduzir a demanda de refrigeração e iluminação e, conseqüentemente, a demanda total de energia, uma vez que permitem a adaptação às mudanças sazonais.

3.2. Normas e regulamentos de desempenho térmico das edificações

A norma de desempenho térmico de edificações, NBR 15220 (ABNT,2004), possui cinco partes que descrevem nomenclaturas, métodos de cálculo e de medição de propriedades térmicas dos componentes construtivos das edificações, determinam o Zoneamento Bioclimático Brasileiro e as diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Uma norma mais recente, a NBR 15575 – Edifícios Habitacionais - Desempenho, está em vigor desde 2008 e é obrigatória a partir de 2013 (ABNT, 2013).

O programa federal de etiquetagem energética vigente no Brasil é o PBE Edifica, composto pelo RTQ-C e pelo RTQ-R. Além destes, há outros programas são independentes e voltados à sustentabilidade, como o Selo Casa Azul da CAIXA. O RTQ-R aborda a envoltória, sistema de aquecimento de água e sistemas presentes nas áreas comuns dos edifícios multifamiliares como, por exemplo, iluminação, elevadores, bombas centrífugas.

Pelo RTQ-R, o edifício pode ser analisado por dois métodos: prescritivo ou por simulação computacional. Tais regulamentos apresentam um método para definir o uso ou não de proteções solares, tendo como base as proposições de Pereira e Santos (2008) e Santos e Souza (2012).

Pereira e Souza (2008) propuseram uma metodologia para definir quais critérios deveriam ser considerados para o uso de proteções solares em aberturas, os quais poderiam ser incorporados em certificações de desempenho energético de edificações, como o foi para a Regulamentação de Eficiência Energética de Edifícios. Para tanto: a) foram usados dados de radiação solar incidente em fachadas e de temperaturas estimadas pelas Normas Climatológicas do período de 1960-1991 fornecido pelo INMET; b) foram definidas “zonas” de conforto térmico para cada cidade para encontrar os limites de temperaturas que determinam em que períodos do ano a incidência solar na edificação é desejada ou não (aclimatação da população);e c)

foi definido o centro da zona de conforto térmico pelo cálculo da temperatura neutra, ou seja, “temperatura na qual uma população aclimatada, em atividade sedentária, se sente confortável”. Dessa maneira, foram estabelecidos requisitos para o pré-dimensionamento das proteções solares, tais como: datas e horários que se obtém sombreamento total do ambiente e, os ângulos recomendados, para diferentes tamanhos de abertura em relação ao piso¹⁰, e a temperatura neutra.

Santos e Souza (2012) discutiram como o método prescritivo do RTQ-C aborda a influência que as proteções solares têm sobre o desempenho da envoltória da edificação, o que é feito por estudos de caso de brises e prateleiras de luz pelos métodos prescritivo e por simulação computacional. Neste estudo foram considerados apenas os ângulos que as proteções solares formam com as aberturas e desconsideraram-se a sua geometria, o acabamento e a refletividade de suas superfícies. As autoras salientam a importância do dimensionamento correto das proteções solares, visto que o RTQ-C quantifica o nível de sombreamento, mas não analisa a qualidade da proteção solar. Por meio da simulação, como principais resultados do estudo, observaram: a) a importância de se considerar outros fatores para o dimensionamento da proteção solar como, por exemplo, a sua geometria, visto que o método prescritivo da envoltória considera somente os ângulos da proteção; b) o método de temperaturas neutras (Tn) foi eficiente para o dimensionamento de proteções solares, uma vez que possibilitou a redução da incidência da radiação solar direta sobre a abertura.

Como realizado no estudo de Santos e Souza (2012), foram estabelecidos no RTQ-R indicadores de eficiência energética quanto às proteções solares por meio da variável ‘somb’¹¹, que define a presença de dispositivos de proteção solar externos às aberturas. A determinação desta variável consiste basicamente na análise da carta solar da cidade escolhida e na razão entre os ângulos da proteção solar avaliada e os ângulos mínimos de dimensionamento recomendados pelo regulamento.

‘Somb’ é uma variável da equação de desempenho da envoltória do RTQ-R. Como se refere à participação das proteções solares no desempenho energético, ele pode ser considerado um indicador de eficiência da proteção solar.

No entanto, o RTQ-R não fornece indicadores referentes aos níveis de conforto do usuário do ambiente interno, tanto térmico quanto visual, decorrentes da incidência

¹⁰ Pequenas aberturas: com área entre 16% e 25% da área do piso e grandes aberturas: com área superior a 25% da área do piso.

¹¹ A variável ‘somb’ é um percentual em relação a 75% dessa razão conforme descreve a eficiência das proteções solares externas às aberturas (BRASIL, 2012).

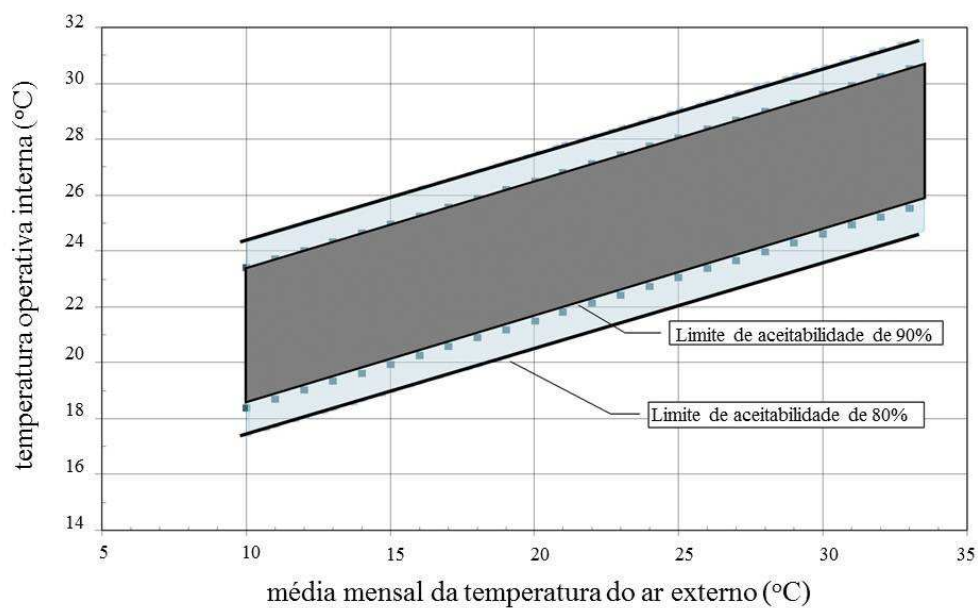
da radiação solar direta e indireta, mas indicadores de desempenho térmico. Ou seja, o método prescritivo do RTQ-Rcarece de quantificação dos níveis de conforto do usuário para determinação de métricas de conforto e de eficiência energética em habitações para o território nacional.

Para a análise do conforto térmico dos usuários de um espaço, podem-se adotar os critérios estabelecidos pela norma *ASHRAE Standard 55* (ASHRAE 2010). Esta norma aplica-se para as condições ambientais térmicas aceitáveis para adultos saudáveis em locais com pressão atmosférica equivalente a altitudes de até 3.000 m em espaços interiores para ocupação humana de um mínimo de quinze minutos. Segundo essa norma, conforto térmico é “a condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico e é avaliado por avaliação subjetiva” e ambiente termicamente aceitável é “aquele cuja maioria dos ocupantes encontra-se em situação térmica aceitável” (ASHRAE, 2010, p.3 - tradução do autor). Seis fatores principais devem ser abordados para obter a condição de conforto térmico: a taxa metabólica, o isolamento térmico produzido pela vestimenta, a temperatura de bulbo seco, a temperatura radiante média, a velocidade do ar e a umidade do ar, os quais podem variar ao longo do tempo (ASHRAE, 2010).

A norma se destina a indivíduos sedentários ou com níveis de atividade física semelhante à de trabalho sedentário de escritório, mas é permitido usá-la para determinar condições ambientais para atividades moderadamente elevadas. Não se aplica ao estado de repouso ou de sono e os dados disponíveis não fornecem informações quanto às exigências de conforto de crianças, deficientes ou enfermos. No entanto, ela pode ser aplicada em um grupo de ocupantes em sala de aula, desde que de maneira criteriosa. Uma faixa de conforto é determinada conforme a temperatura operativa do ar e a sua umidade, considerando fixas, a velocidade do ar, a taxa metabólica dos ocupantes e, o isolamento de suas vestimentas. Os procedimentos de cálculo da temperatura operativa são apresentados na *ASHRAE Handbook*, Fundamentos 3, Capítulo 9, apêndice C (ASHRAE, 2010).

Para considerar o ambiente ventilado naturalmente, a *ASHRAE Standard 55* (ASHRAE, 2010) adota o método adaptativo, denominado Método Opcional para Determinação das Condições Térmicas Aceitáveis em Espaços Naturalmente Condicionados (PEREIRA, 2009). Para usar este método, é preciso que os usuários apresentem atividades físicas cujas taxas metabólicas estejam entre 1,0 met a 1,3 met (próxima de sedentária). Para espaços que apresentam tais características, pode-se usar a

zona de conforto da Figura 3.2 para definir as temperaturas operativas, a qual pode ser obtida pela temperatura do ar e temperatura radiante (ASHRAE, 2010). Esta zona varia de duas formas, de acordo com a porcentagem de usuários satisfeitos de 80% e 90%. A faixa de temperatura operativa não pode exceder as temperaturas externas definidas pelos limites da zona de conforto, ou seja, se as temperaturas médias do ar externo foram inferiores a 10°C ou superiores a 33,5°C, esta zona não deve ser usada. Neste método não há limites para a umidade relativa e a velocidade do ar (ASHRAE, 2010).



Fonte: ASHRAE *Standard 55* (ASHRAE, 2010, p. 12 - editado).

Figura 3.2 - Zona de Conforto para edifícios naturalmente ventilados, em função da temperatura operativa.

O estudo de Silveira e Labaki (2012) evidencia a importância do modelo adaptativo da ASHRAE *Standard 55* (ASHRAE, 2010), o qual associado à simulação computacional pode ser uma boa ferramenta de verificação e quantificação do desempenho térmico para ambientes naturalmente ventilados. Nicols (2002) afirma que o principal pressuposto deste tipo de abordagem é o princípio adaptativo, pois se houver alguma mudança que gere desconforto, as pessoas tendem a agir de tal forma a recuperar o seu conforto, seja por mudanças de vestimenta ou dispositivos de ventilação. Este princípio, ao associar o voto de conforto, que é uma sensação subjetiva, às ações das pessoas, cuja emissão de calor é mensurável, relaciona a temperatura de conforto ao contexto em que os indivíduos se encontram. Assim, a temperatura de

conforto é decorrente da interação entre os indivíduos e o ambiente em que se encontram. O método adaptativo tem como principal indicador de conforto térmico as temperaturas operativas, cujo intervalo de conforto varia conforme as temperaturas externas (T_e), o que permite comparar as edificações em diferentes climas, considerando-se a variabilidade que existe de preferência térmica de um local a outro (SILVEIRA; LABAKI, 2012).

O RTQ-R não apresenta uma quantificação do número de horas em conforto térmico para estabelecer níveis de eficiência, como o RTQ-C. Portanto, este último foi usado com referencial, pois define que ambientes com mais de 80% de horas ocupadas em conforto térmico no período de um ano é nível A, de 70%-80% é nível B, e 60% a 70% é nível C, que é o nível de eficiência médio, entre nível E e nível A.

3.3. Simulação computacional

Mendes et al.(2005) afirmam que por meio dos programas de simulação é possível avaliar o desempenho termoenergético de edificações para diversas alternativas de projeto, podendo obter, assim, por exemplo, o consumo energético. Tais ferramentas facilitam a análise de grande quantidade de dados e por meio da análise dos seus resultados obtêm-se orientações para a tomada de decisões no projeto (RAMOS; GHISI, 2010).

Um dos programas de simulação mais usados no Brasil é o *EnergyPlus*, que segundo Crawley et al. (1999) calcula o desempenho de uma edificação e foi decorrente da união dos recursos e características dos programas BLAST e DOE-2, possuindo ainda outras capacidades.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O material utilizado nesta etapa foi computador. O método é composto basicamente por duas fases: proposição de proteções solares e modelagem para a simulação térmica pelo programa *EnergyPlus*.

As proteções solares foram dimensionadas, e os modelos elaborados, a partir de uma unidade habitacional (UH) ocupada e ventilada naturalmente localizada na cidade de Viçosa (MG), num bairro residencial com edificações predominantemente baixas (um ou dois pavimentos). A UH está no quarto andar de uma edificação de seis

pavimentos em um terreno de esquina. A UH foi selecionada conforme especificações do estudo de Telles e Carlo (2012) e possui 38,4 m² de área, dois moradores e tem como ambientes dois dormitórios, sala de estar, banheiro, copa/cozinha, sendo que sala e quarto 1 tem orientação nordeste e o quarto 2, sudeste. Todos os dimensionamentos e simulações foram realizados para Viçosa, MG, (20,75°S; 42,88°W), com o arquivo climático TMY de 2005-2010 (GUIMARÃES; CARLO, 2011).

4.1. Caracterização dos modelos para simulação térmica

4.1.1. Caso base

O modelo casobase é composto por oito zonas térmicas internas, sendo cinco correspondente aos cômodos da UH (Zona 1 – sala de estar, Zona 2 – quarto 1, Zona 3 – quarto 2, Zona 4 – banheiro e Zona 5 – cozinha/copa) e as outras três correspondem a corredor do edifício (Zona Corredor), cozinha da UH vizinha (Zona Lateral), a UH vizinha do pavimento superior (Zona Superior) e do pavimento inferior (Zona Inferior), como mostra a Figura 3.3.

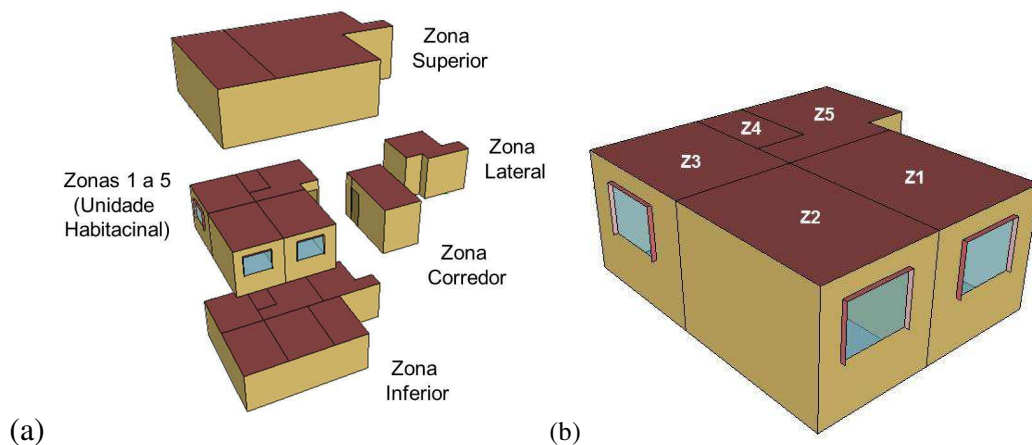


Figura 3.3- (a) As nove zonas térmicas do casobase, separadas para melhor visualização e (b) zonas 1 a 5, correspondente aos cinco cômodos da unidade habitacional.

O modelo possui as seguintes características construtivas: paredes com bloco cerâmico (9x14x24cm), argamassa e pintura clara; piso com 10 cm de espessura composto por três camadas (laje de concreto maciço, contrapiso e piso); as janelas possuem esquadrias de alumínio com vidros transparentes sem proteções solares; portas

constituídas por duas camadas de painel de madeira de placa prensada e uma camada de ar de 2 cm.

O casobase encontra-se no nível do solo, com os parâmetros de simulação com valores *defaults*, vidros das janelas com transmitância de 85%, peitoris com refletância de 89% e as refletâncias das superfícies internas de: parede de 89%, piso de 70% e teto com 95%. Não foram modelados o entorno, as esquadrias das janelas e o edifício que contém a UH estudada.

Para os itens, citados abaixo, referentes à modelagem do caso base no programa *EnergyPlus*, foram adotados os valores indicados pelo RTQ-R (BRASIL, 2012):

- o padrão de ocupação de dormitórios e sala (considerando-se duas pessoas por ambiente, e diferenciação dos padrões de ocupação para dias de semana e de fim de semana);
- o padrão de uso e potência instalada da iluminação (sala com densidade de potência instalada (DPI) de 6 W/m² e os quartos com 5 W/m²);
- a taxa metabólica para cada atividade, com se baseno *ASHRAE Handbook of Fundamentals*, 2009: para a sala, onde se considerou as atividades sentado ou assistindo TV, considera-se como calor produzido para uma área de pele de 1,80 m², 108 W e para os dormitórios, 81 W.
- cargas internas dos equipamentos: sala com potência de 1,5 W/m², para um período de 24h.

Para as taxas metabólicas (em função da atividade realizada) e os padrões de iluminação e ocupação da cozinha, adotaram-se os valores recomendados por Sorgato (2009). Os parâmetros de ventilação, em função da abertura e do material (expoentes e coeficientes de fluxos de ar), foram extraídos de Versage (2009). Para as temperaturas de *set point* das aberturas das janelas adotou-se para o inverno 22°C e para o verão 20°C. Quanto às portas, as internas foram consideradas abertas e as externas fechadas, em 100% do tempo, mas para esta última, considerou-se a infiltração pelas frestas.

4.1.2. Caso referência

Os casos referência resultam do casobase acrescido de proteções solares dimensionadas conforme as determinações de ângulos de sombreamento do método alternativo do RTQ-R (BRASIL, 2012).

Os ângulos de sombreamento considerados neste estudo são os relativos às aberturas com menos de 25% de área em relação à área do piso, como mostra a Tabela 3.1, aonde consta apenas as orientações para as quais o RTQ-R recomenda o uso de proteções solares. Como se pode ver, não são recomendados pelo RTQ-R uso de proteções solares nas orientações: sudeste, nordeste e leste.

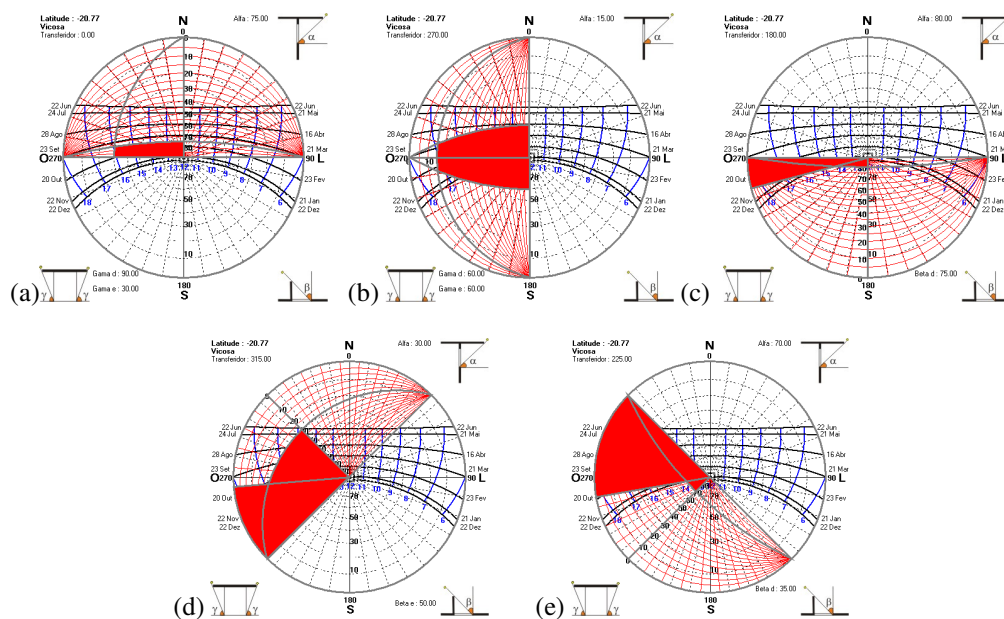
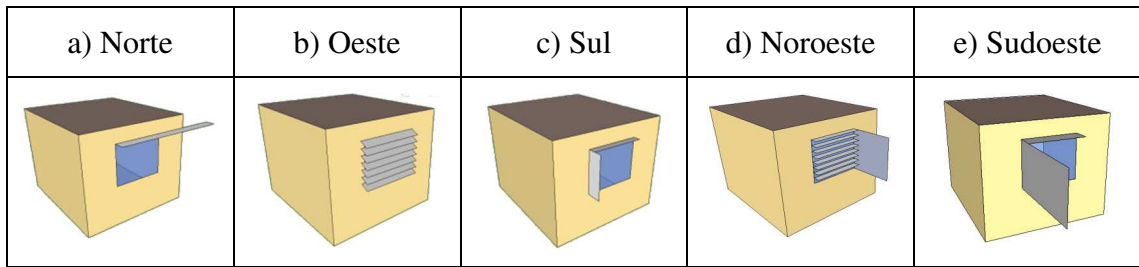
Tabela 3.1- Ângulos de sombreamento recomendados pelo RTQ-R para aberturas com área de janela <25% da área do piso (para ângulos internos)

α	βd	βe	γd	γe
Norte 25	-	-	-	60
Oeste 75	-	-	30	30
Sul 10	15	-	-	-
Noroeste 60	-	40	-	-
Sudoeste 20	55	-	-	-

Fonte: Brasil (2012).

As proteções solares sugeridas pelo RTQ-R (Tabela 3.1) possuem geometria como mostra o Quadro 3.1 e cujas máscaras de sombra são apresentadas pela Figura 3.4. As proteções solares horizontais das orientações oeste e noroeste (Quadro 3.1) foram modeladas contendo várias lâminas para atender o ângulo alfa sem, contudo assumir grandes projeções à frente da abertura, já as proteções solares verticais das orientações sudoeste e noroeste (Quadro 3.1) tiveram grandes projeções (de até 2,1 m) uma vez que segundo o RTQ-R tais orientações possuem apenas os ângulos beta direito e beta esquerdo, respectivamente. Logo, não era possível modelar com várias lâminas e por essa razão possui grande projeção a frente da abertura.

Quadro 3.1- Proteções solares conforme ângulos de sombreamento recomendados pelo RTQ-R



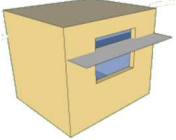
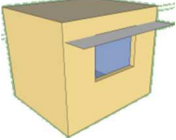
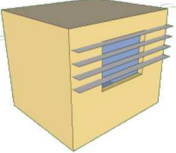
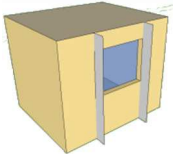
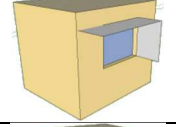
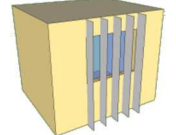
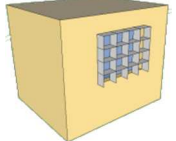
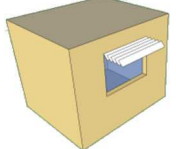
Fonte: Labeec (2009).

Figura 3.4 - Máscara de sombra para os ângulos de proteções solares conforme o RTQ-R, para as orientações: (a) norte; (b) oeste; (c) sul; (d) noroeste e (e) sudoeste.

4.1.3. Alternativas de simulação

As alternativas ao casobase são decorrentes da proposição de diferentes tipos de proteções solares, que abrangem tanto os casos recomendados como não recomendados pelos conceitos de bioclimatologia. Assim, foram estabelecidas 31 combinações de tipo de proteção solar e orientação, o que gerou 93 alternativas de simulação para oito diferentes tipos de proteção solar em diversas orientações geográficas, como mostra o Quadro 3.2.

Quadro 3.2- Características das proteções solares da unidade habitacional, que diferenciam as alternativas de simulação

Tipo de Proteção Solar	Alternativa	Orientação		Imagem da proteção solar
		S e Q1	Q2	
1 Prateleira de Luz	1A	N	L	
	1B	O	N	
	1C	S	O	
	1D	L	S	
2 Horizontal - Única aleta	2A	N	L	
	2B	O	N	
	2C	S	O	
	2D	L	S	
3 Horizontal – Filetado	3A	N	L	
	3B	O	N	
	3C	S	O	
	3D	L	S	
	3E	NO	NE	
	3F	SO	NO	
	3G	SE	SO	
4 Vertical – Duas Aletas	4A	O	N	
	4B	NO	NE	
	4C	S	O	
	4D	SO	NO	
5 Em L	5A	NO	NE	
	5B	SO	NO	
6 Vertical – Filetado	6A	O	N	
	6B	S	O	
	6C	L	S	
7 Quadriculado	7A	N	L	
	7B	O	N	
	7C	S	O	
8 Horizontal Filetado Inclinado	8A	N	L	
	8B	S	O	
	8C	O	N	
	8D	L	S	
TOTAL		93		

Para cada tipo de proteção solar citado, foi feita a máscara de sombra para a respectiva orientação da abertura. Como exemplo, a Figura 3.5 mostra a máscara de sombreamento para eficiência total pela proteção solar em L da alternativa 5a. As demais máscaras de sombra das alternativas de simulação estão no Apêndice E.

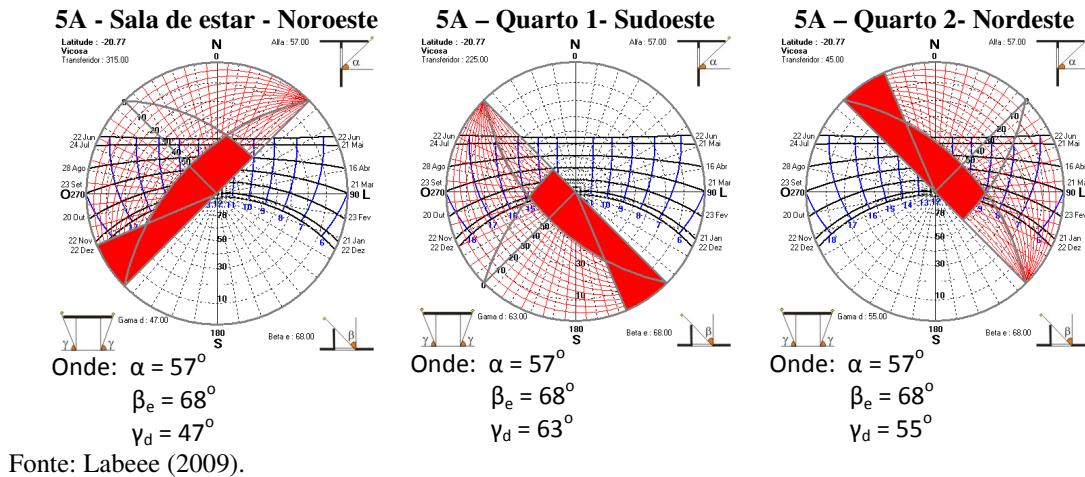


Figura 3.5- Máscara de sombra para as aberturas da alternativa tipo 5A.

4.2. Critérios de análise dos resultados da simulação térmica

A análise da relação existente entre o indicador de eficiência das proteções solares do RTQ-R, o ‘somb’, e o correspondente conforto térmico proporcionado para o usuário de ambientes residenciais de permanência prolongada será realizada por meio de dois gráficos que contêm diferentes critérios de análise:

- Critério 1: a análise é realizada para a situação vigente: a restrição do método definido pelo RTQ-R, em que as proteções solares possuem o valor de ‘somb’ entre 0 (zero) e 0,5 ($0 < \text{somb} < 0,5$);
- Critério 2: a análise é realizada considerando que o valor de ‘somb’ pode chegar a 1 ($0 < \text{somb} < 1$).

As duas análises foram feitas para a avaliação do número de horas em que os ambientes proporcionam condições de conforto térmico, desconforto térmico por frio e desconforto térmico por calor. Os gráficos elaborados para esta análise apresentam os seguintes aspectos (Figura 3.6):

- Eixo das abscissas: indica o percentual de horas em conforto térmico de acordo com a *ASHRAE Standard 55* (ASHRAE, 2010);
- Eixo das ordenadas: indica o valor de ‘somb’, que é classificado de modo que ‘somb’ igual a 0 (zero) é ausência de proteção solar e ‘somb’ igual a 1 (um) indica uma proteção solar eficiente, segundo o RTQ-R (BRASIL, 2010);
- Faixa em verde: localizada na área central do gráfico, representa os resultados cujos valores de ‘somb’, apresentam compatibilidade com o conforto térmico. Esta faixa possui ainda duas áreas distintas: uma entre linhas contínuas, onde os resultados possuem compatibilidade entre somb e conforto térmico num intervalo de 10% de desvio, para mais ou para menos, e outra área entre as linhas tracejada e contínua, com compatibilidade maior, com 20% de desvio, para mais ou para menos.
- Faixas em vermelho: localizadas nos extremos do gráfico, representam os resultados que não têm compatibilidade com o conforto térmico, cujas proteções solares eficientes não proporcionam situações de conforto e proteções ineficientes não proporcionam situações de desconforto;

Como a *ASHRAE Standard 55* (ASHRAE, 2010) não abrange atividades metabólicas em repouso, a análise foi realizada para o intervalo de horas diário ao longo do ano que seja compatível com a realização de uma atividade que não seja o repouso: das 7 horas às 21 horas, totalizando 5.110 horas (que corresponde a 100% das horas no eixo horizontal da Figura 3.6).

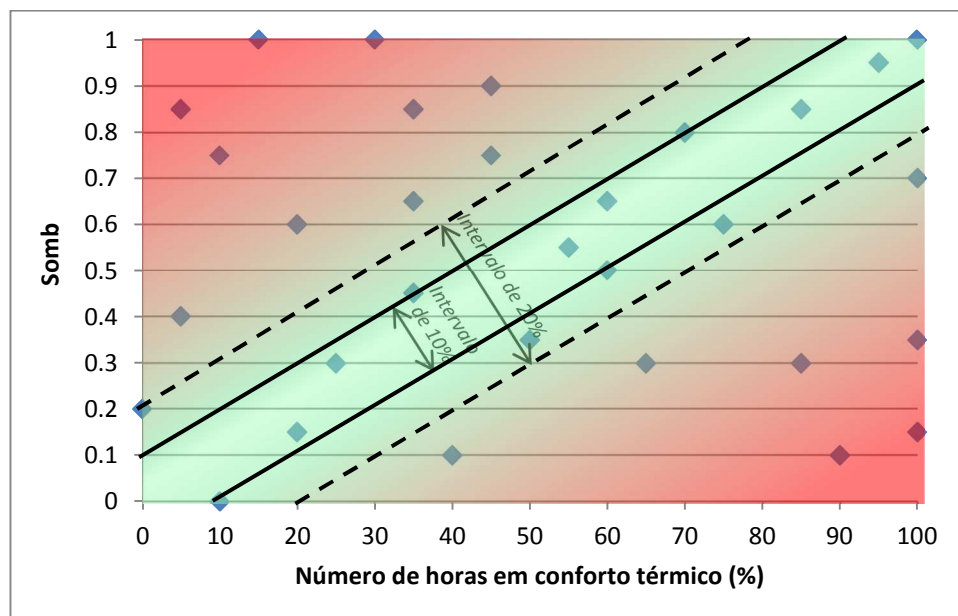


Figura 3.6 - Forma de apresentação dos resultados esperados.

Para os ambientes, da UH estudada, que estão voltados para as orientações que o RTQ-R não recomenda o uso de proteções solares, ou seja, para ‘somb’ zero, os resultados foram tratados individualmente.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram modeladas 31 combinações de proteção solar e orientação, avaliada em três ambientes (sala e dois quartos). Dessa maneira foram gerados resultados para 93 alternativas de simulação. Destas, 73 foram utilizadas para a análise inicial, que relaciona o grau de compatibilidade entre ‘somb’ e o nível de conforto térmico. As outras 20 alternativas possuem orientações para os quais o RTQ-R não recomenda proteções solares (nordeste, leste e sudeste) e, portanto, não foi possível calcular ‘somb’. Posteriormente, estas alternativas desconsideradas foram analisadas individualmente, por meio da comparação com seus respectivos casos base (sem proteção solar). Como complemento, os casos referência, que possuem as proteções solares cujo dimensionamento é recomendado pelo RTQ-R, foram também analisados de maneira individual.

5.1. Análise dos ambientes em que proteções solares são recomendadas pelo RTQ-R (alternativas de simulação)

As Figuras 3.7 a 3.9 abordam a relação de compatibilidade entre: ‘somb’ e conforto térmico. A Figura 3.7, que adota o critério 1 de análise ($0 < \text{somb} < 0,5$), mostra que não há alternativas de simulação cujas horas em conforto térmico estão compatíveis com o desempenho da proteção solar no intervalo de compatibilidade de 10%, mas há cinco alternativas (6,9% do total de 73 alternativas) no intervalo de 20%. Na Figura 3.8, que adota o critério 2 de análise ($0 < \text{somb} < 1$), há três alternativas (4,1%) no intervalo de 10% de compatibilidade e na de 20%, há 16 alternativas (21,9%). Nota-se que, quando não se considera a restrição estabelecida pelo RTQ-R ($0 < \text{somb} < 0,5$), e o ‘somb’ assume valores entre 0 (zero) e 1 (um), há mais alternativas (21,9%) no intervalo de compatibilidade considerado aceitável.

As demais alternativas encontram-se em uma faixa em que as horas em conforto térmico são elevadas, porém, ‘somb’ não indica uma elevada eficiência da proteção solar, uma vez que há alternativas com ‘somb’ entre 0,1 e 0,5 que apresentam

o mesmo valor de horas em conforto térmico. Observa-se, no entanto, que o casobase apresenta um número de horas em conforto térmico que varia entre 60% e 80%,ou seja, a unidade habitacional encontra-se em uma situação de média a favorável¹², mesmo sem possuir proteção solar.As alternativas de simulação apresentaram diferença média de percentual de horas em conforto térmico em relação ao caso base de 1,2%, máxima de 6,7%e desvio padrão de 1,6%. Tais diferenças podem ser consideradas baixas, mas corresponde melhorias para uma média de 61 horas, máximo de 342 horas e desvio padrão de 82 horas.

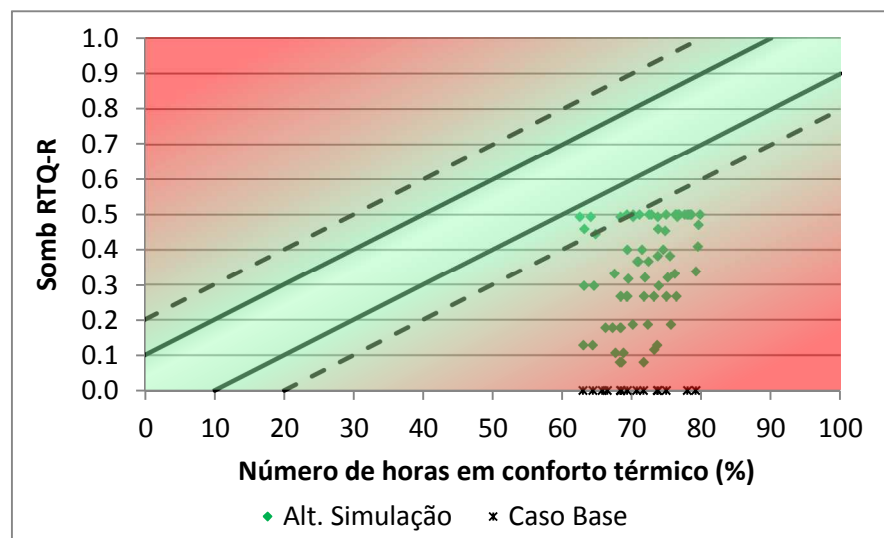


Figura 3.7- Horas em conforto térmico obtido pelas alternativas de simulação em função do 'somb', conforme análise pelo critério 1 ($0 < \text{somb} < 0,5$).

¹² Fazendo-se um paralelo com o RTQ-C, o Percentual das Horas em Conforto Térmico é classificado como nível C (60% a 69%) e nível B (70% a 79%) para este intervalo.

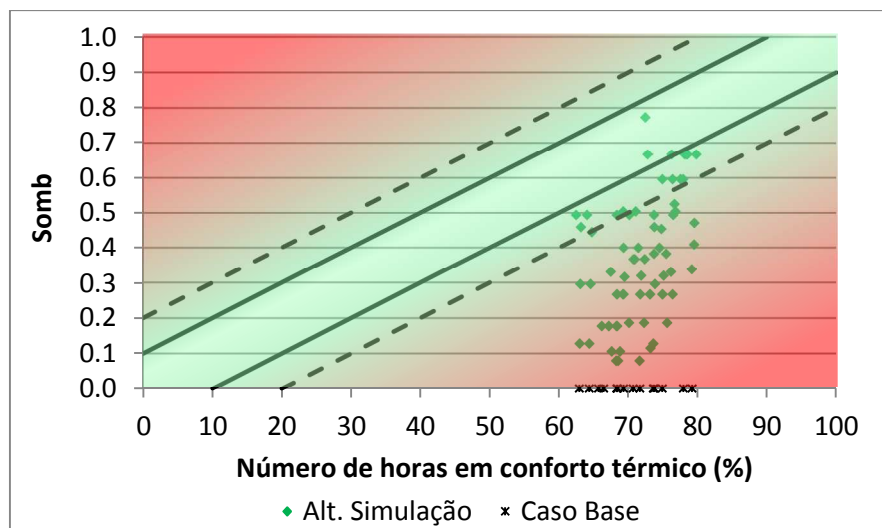


Figura 3.8 - Horas de conforto térmico obtido pelas alternativas de simulação em função do 'somb' conforme análise pelo critério 2 ($0 < \text{somb} < 1$).

A análise das Figuras 3.7 e 3.8 foi realizada a partir de uma expectativa de correlação entre a variável dependente e independente, ou seja, à medida que se aumenta o sombreamento ('somb') haveria um aumento do nível de conforto térmico de maneira proporcional, mesmo que não linear. Tal expectativa foi baseada na equação do RTQ-R, em que, 'somb' é uma variável independente em uma regressão linear. Entretanto, não houve correlação entre as horas de conforto térmico e 'somb', como pode ser visto na dispersão dos pontos na Figura 3.8, cujo coeficiente de determinação foi de 0,046.

A Figura 3.9 é similar à Figura 3.8, porém com um mínimo de 60% no eixo das abscissas, para melhor visualização das melhorias em relação aos casos base. Os pontos que representam os casos base estão dispostos sobre o eixo das abscissas, cujo 'somb' é zero. Eles variam entre 60% e 80%. Uma grande variação no eixo das ordenadas ('somb') foi decorrente de uma pequena variação no eixo das abscissas (número de horas em conforto ou desconforto térmico). Como exemplos: a) para um caso base (marcação em preto) que possui 62,96% de nível de conforto e um 'somb' de 0 (zero), quando acrescido de proteção solar de determinado tipo (marcação em vermelho), apresenta 63,00% de horas em conforto decorrentes de um 'somb' de 0,3 e, b) para o mesmo caso base (62,96% de conforto e somb de zero, marcação em preto), quando acrescido de outro tipo de proteção solar (marcação em azul), o 'somb' 0,5 gerou 69,28% de horas em conforto. Assim, observa-se que para um aumento, respectivamente, de

30% e 50% no ‘somb’, a melhoria nas horas de conforto térmico não foi proporcional, sendo de apenas 0,04% para o primeiro e, de 6,32%, para o segundo. Tal resultado manteve o eixo das abscissas com o mesmo intervalo de variação, entre 60% a 80%, independente do tipo de proteção solar e da orientação, o que quantifica o impacto das proteções solares nos níveis de conforto térmico dos usuários neste clima e tipologia estudada.

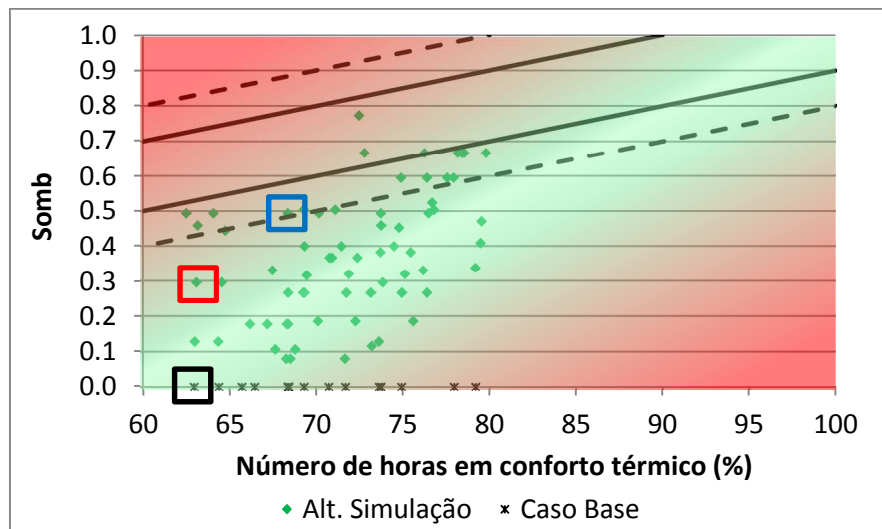


Figura 3.9- Horas em conforto térmico obtido pelas alternativas de simulação em função do ‘somb’, conforme análise pelo critério 2 ($0 < \text{somb} < 1$), com limitação do eixo das abscissas em função do caso base.

Para a análise das horas em desconforto térmico por frio (Figura 3.10), que adota o critério 2 de análise, o limite máximo do intervalo de variação do nível de desconforto do caso base foi utilizado para visualização, porém com ressalvas: a proteção solar pode reduzir o desconforto térmico por frio por ser eficiente (sombria no verão e permite incidência no inverno), mas pode também aumentar o desconforto em caso de superdimensionamento. A correlação entre o número de horas em desconforto e ‘somb’ foi também baixa, de coeficiente de determinação de 0,0469. A diferença média das alternativas em relação ao caso base foi de 1,5%, a máxima de 7,5% e o desvio padrão de 1,9%. Portanto, houve um aumento das horas de desconforto por frio de, no máximo, 382 horas, com a instalação de proteções solares.

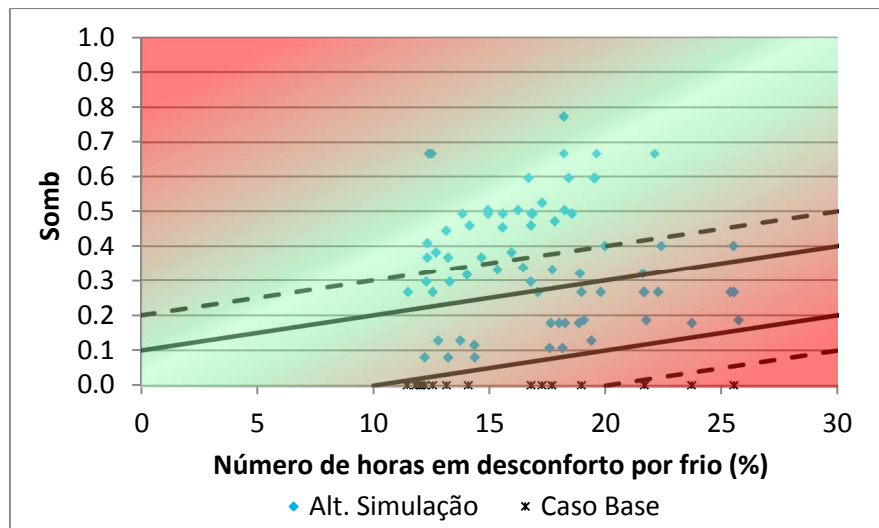


Figura 3.10 - Horas em desconforto térmico por frio obtido pelas alternativas de simulação em função do ‘somb’, conforme análise pelo critério 2 ($0 < \text{somb} < 1$), com limitação do eixo das abscissas em função do caso base.

Já no caso das horas em desconforto térmico por calor (Figura 3.11), adotou-se o percentual máximo de horas alcançadas pelo caso base no eixo das abscissas para visualização, uma vez que o uso de proteções solares permite a redução da incidência direta da radiação e, conseqüentemente, a redução do desconforto térmico por calor. Tanto o caso base quanto as alternativas de simulação encontram-se em um intervalo cujas horas em desconforto térmico por calor são baixas, entre 0% e 25%. A correlação entre as horas em desconforto e ‘somb’ apresentou coeficiente de determinação de 0,1148 que, embora maior que os demais casos, não indica haver correlação satisfatória. As diferenças de horas em desconforto térmico por calor entre as alternativas e os seus casos base apresentaram média percentual de 2,4%, máxima de 9,6%, e desvio padrão de 2,7%. Foi observado que o desconforto térmico por calor apresentou as maiores variações pela inserção de proteções solares, chegando a 490 horas a menos do que no caso base. Tal fator pode ser explicado pela geração de carga interna que estabiliza as condições de conforto e desconforto por frio, mas que, em condições de desconforto por calor, é somada a uma fonte adicional de calor, a radiação solar. Ao instalar uma proteção solar, a fonte adicional de calor é eliminada, assim como as condições mais extremas de desconforto térmico por calor.

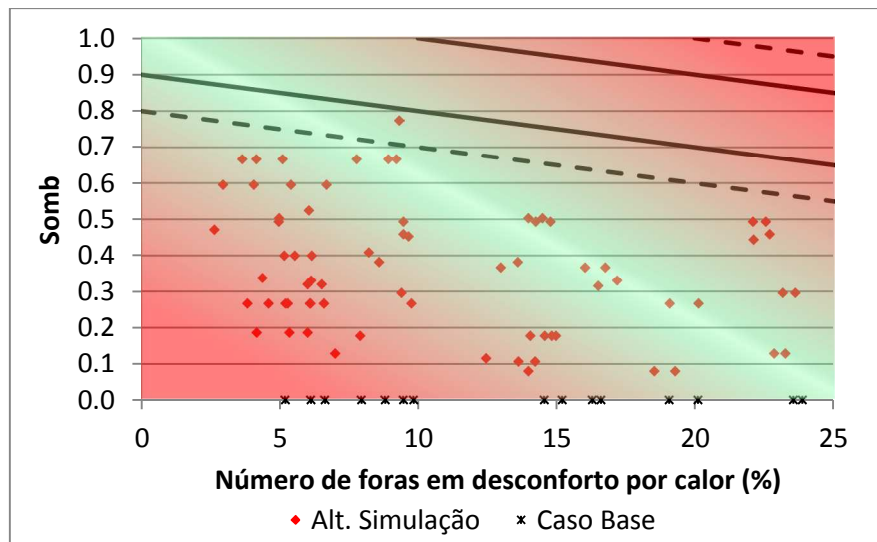


Figura 3.11- Horas em desconforto térmico por calor obtido pelas alternativas de simulação em função do ‘somb’, conforme análise pelo critério 2 ($0 < \text{somb} < 1$), com limitação do eixo das abscissas em função do caso base.

Em geral, a escala de variação do eixo das abscissas foi determinada em função do intervalo de variação dos níveis de conforto e desconforto térmico do caso base. Dessa forma, foi possível observar a ausência de correlação satisfatória entre ‘somb’ e os níveis de conforto térmico (Figuras 3.9 a 3.11). Com isso, os intervalos que definiram os critérios de 10% e 20% de compatibilidade presentes nas Figuras 3.9 a 3.11, não foram representativos do intervalo verde. Tampouco foi possível estabelecer algum critério de compatibilidade entre a variável que indica o nível de eficiência da proteção solar pelo RTQ-R com os níveis de conforto térmico que uma proteção solar pode proporcionar.

Além disso, verificou-se que uma análise que relacione ‘somb’ com o conforto térmico em diversas orientações não é possível de ser descrita matematicamente nem para alternativas provenientes de um mesmo caso base, cuja única variável foi a proteção solar.

5.2. Análise dos ambientes em que proteções solares não são recomendadas pelo RTQ-R (alternativas de simulação)

Segundo as recomendações do RTQ-R, as orientações leste, nordeste e sudeste não necessitam de proteções solares. Como não há indicador de eficiência para

tais casos, foram simuladas 20 alternativas de simulação que foram comparadas às condições de conforto dos seus respectivos caso base. As Figuras 3.12 a 3.14 apresentam tais condições para os ambientes (sala, quarto 1 e, ou, quarto 2) e uma orientação (leste ou nordeste e, ou, sudeste). Observa-se que houve melhorias em algumas alternativas em relação ao caso base, porém nenhuma ultrapassou um aumento de 5% nas horas em conforto térmico, o que corresponde a 255 horas. As alternativas que obtiveram aumento nos níveis de conforto em relação ao caso base para a orientação leste foram a 1D (4,8%) e 8D (4,1%) para a sala (Figura 3.12); 1D (4%), 6C (0,5%) e 8D (3,7%) para o quarto 1 (Figura 3.13) e 2A (0,6%) e 3A (0,6%) para o quarto 2 (Figura 3.14).

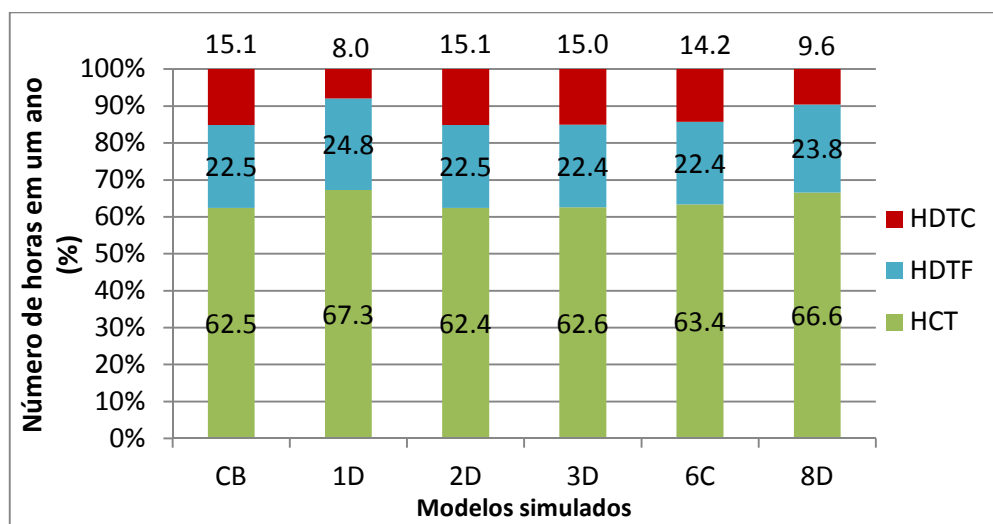


Figura 3.12 - Comparação das horas em conforto térmico (HCT), horas em desconforto térmico por frio (HDTF) e horas em desconforto térmico por calor (HDTC) entre o caso base (CB) e as alternativas de simulação (1D, 2D, 3D, 6C e 8D), para o ambiente sala com orientação leste.

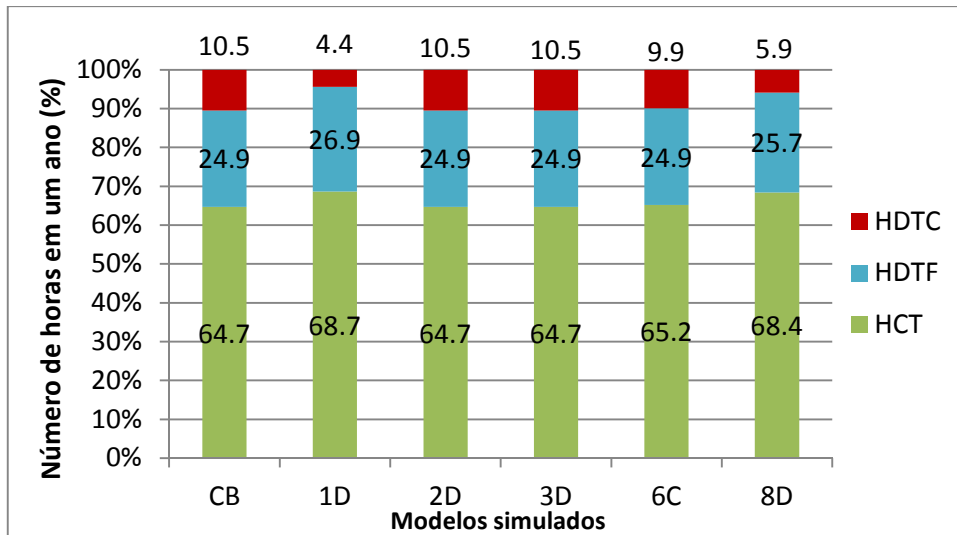


Figura 3.13- Comparação das horas em conforto térmico (HCT), horas em desconforto térmico por frio (HDTF) e horas em desconforto térmico por calor (HDTC) entre o caso base (CB) e as alternativas de simulação (1D,2D,3D,6C e 8D), para o ambiente quarto 1 com orientação leste.

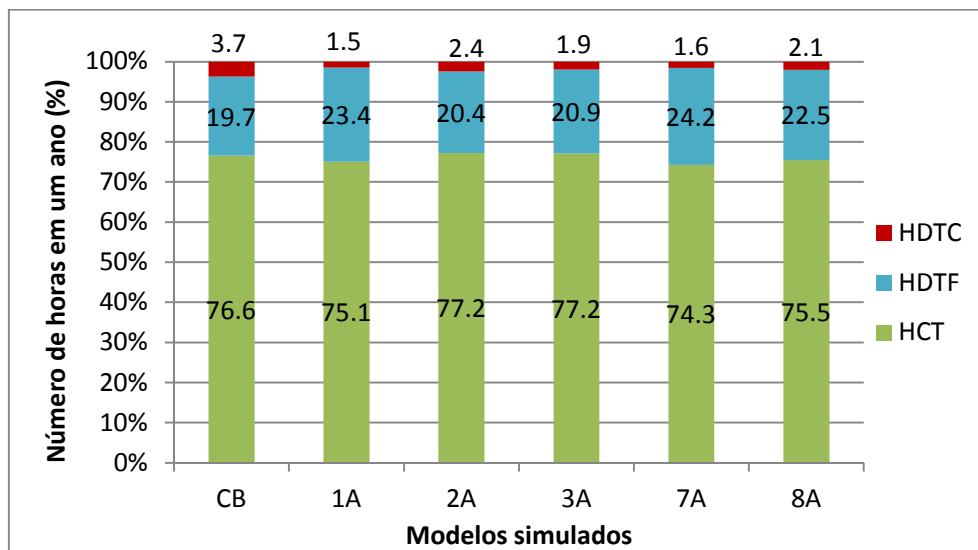


Figura 3.14 - Comparação das horas em conforto térmico (HCT), horas em desconforto térmico por frio (HDTF) e horas em desconforto térmico por calor (HDTC) entre o caso base (CB) e as alternativas de simulação (1A, 2A,3A,7A e 8A), para o ambiente quarto 2 com orientação leste.

Para a orientação nordeste, foi simulado apenas o ambiente quarto 2 (Figura 3.15), cujas alternativas de simulação que apresentaram aumento nas horas de conforto térmico foram: a 4B (0,6%) e a 5A (1,3%). E para a orientação sudeste, simulou-se apenas a sala e o quarto 1 (Figura 3.16), cujas alternativas de simulação mantiveram o mesmo nível de conforto térmico que o caso base que não possui proteções solares. Portanto, os impactos das proteções solares nos ambientes onde elas não são exigidas nos RTQ-R foram quantificados e foi confirmado serem baixos em relação aos impactos nas demais orientações.

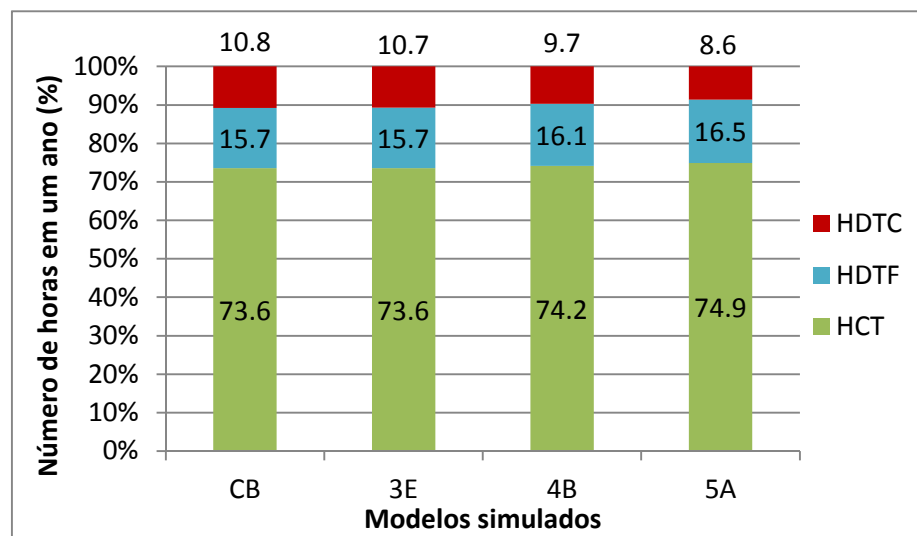


Figura 3.15 - Comparação das horas em conforto térmico (HCT) e desconforto térmico por frio (HDTF) e horas em desconforto térmico por calor (HDTC) entre o caso base (CB) e as alternativas de simulação (3E, 4B e 5A), para o ambiente quarto 2 com orientação nordeste.

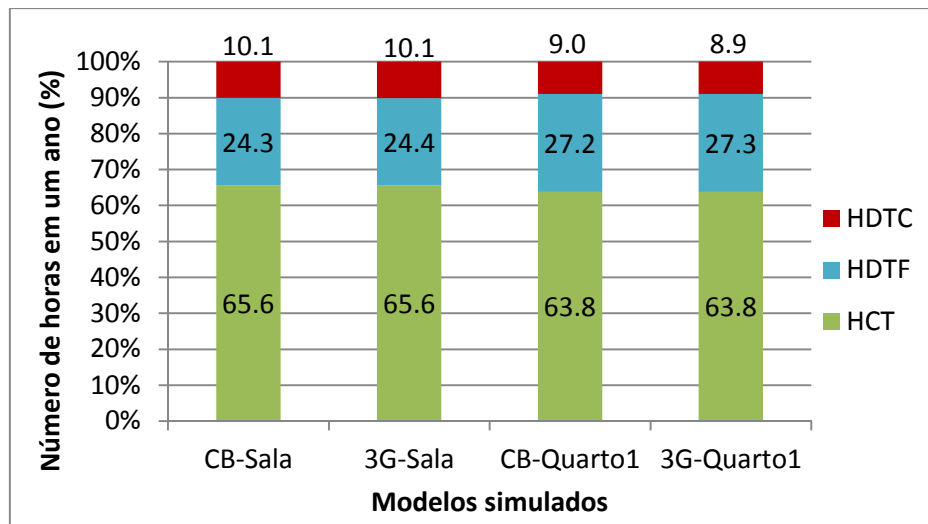


Figura 3.16 - Comparação das horas em desconforto térmico (HCT) e desconforto térmico por frio (HDTF) e horas em desconforto térmico por calor (HDTC) entre o caso base (CB) e as alternativas de simulação (3G para ambos), para os ambientes sala e quarto 1 com orientação sudeste.

5.3. Análise dos ambientes com proteções solares recomendadas pelo RTQ-R (caso referência)

As Figuras 3.17 a 3.19 mostram o número de horas em conforto térmico entre o caso base (CB) e o caso referência (CR), para diferentes orientações (norte, oeste, sul e sudoeste) por ambiente de permanência prolongada: sala (Figura 3.17), quarto 1 (Figura 3.18) e quarto 2 (Figura 3.19). Para melhor visualização, inseriram-se sobre os gráficos, linhas tracejadas verticais, que separam as diferentes orientações analisadas.

Nota-se que, nos três ambientes, os casos referências apresentaram melhorias quanto ao conforto térmico, com maior impacto na orientação oeste, com um aumento de 9,8% (500 horas) para a sala (Figura 3.17), 9,2% (469,2 horas) para o quarto 1 (Figura 3.18) e 4,2% (214 horas) para o quarto 2 (Figura 3.19). Tal fato, gerou, para esta orientação, a maior redução no nível de desconforto térmico por calor, sendo de 13% (663 horas) para a sala (Figura 3.17), 12,2% (622 horas) para o quarto 1 (Figura 3.18) e 6,5% (331 horas) para o quarto 2 (Figura 3.19). As orientações que apresentaram as mais baixas melhorias nas horas de conforto térmico foram: norte (0,1%) e sul (0,2%) para a sala (Figura 3.17), norte (0,3%) e sul (1%) para o quarto 1 (Figura 3.18) e sul (0,1%) e sudoeste (2,7%) para o quarto 2 (Figura 3.19).

As proteções solares indicadas pelo RTQ-R ocasionaram uma redução no nível de desconforto térmico por calor em todas as orientações estudadas (norte, oeste, sul e sudoeste) e, um aumento do desconforto térmico por frio em 75% delas. Assim, os casos referência apresentaram, em relação ao caso base, os seguintes resultados gerais: a) as horas em conforto térmico apresentam diferença média de 3,1% (158 horas), máxima de 9,8% (500 horas) e desvio padrão de 3% (153 horas); b) as horas em desconforto térmico por frio apresentam diferença média de 1,5% (76 horas), máxima de 4,1% (209 horas) e desvio padrão de 1,4%; (71 horas); c) as horas em desconforto térmico por calor apresentam diferença média de 4,6% (235 horas), máxima de 13% (663 horas), mínima de 0,1% (5 horas) e desvio padrão de 4,2% (214 horas). Observa-se que, em relação ao caso base, as horas de desconforto térmico por calor dos casos referência sofreram as maiores variações com a inserção das proteções solares (redução de 235 horas), o que confirma tais parâmetros referenciais para o método do RTQ-R.

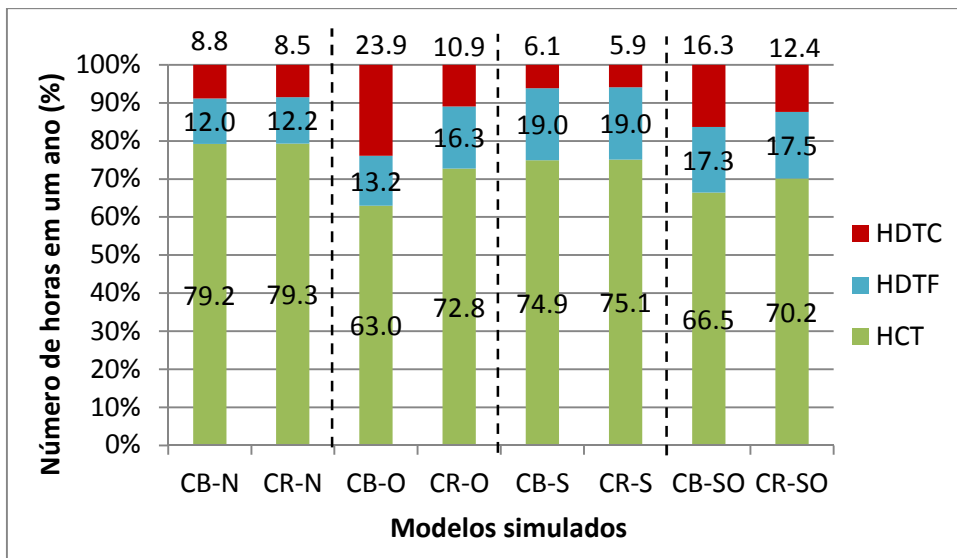


Figura 3.17 - Comparação das horas em conforto térmico (HCT), horas em desconforto térmico por frio (HDTF) e horas em desconforto térmico por calor (HDTC) entre o caso base (CB) e o caso referência (CR), para o ambiente sala para diferentes orientações.

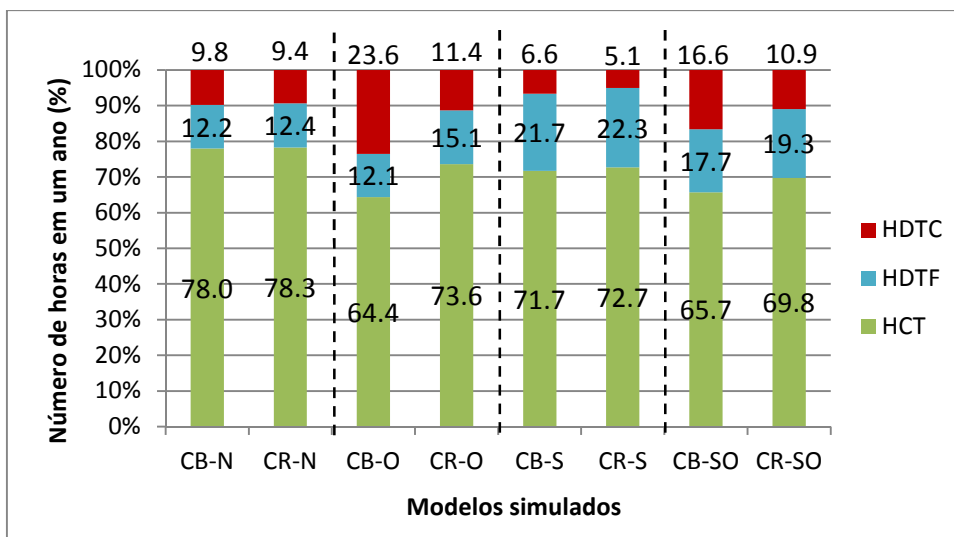


Figura 3.18 - Comparação das horas em conforto térmico (HCT), horas em desconforto térmico por frio (HDTF) e horas em desconforto térmico por calor (HDTC) entre o caso base (CB) e o caso referência (CR), para o ambiente quarto 1 para diferentes orientações.

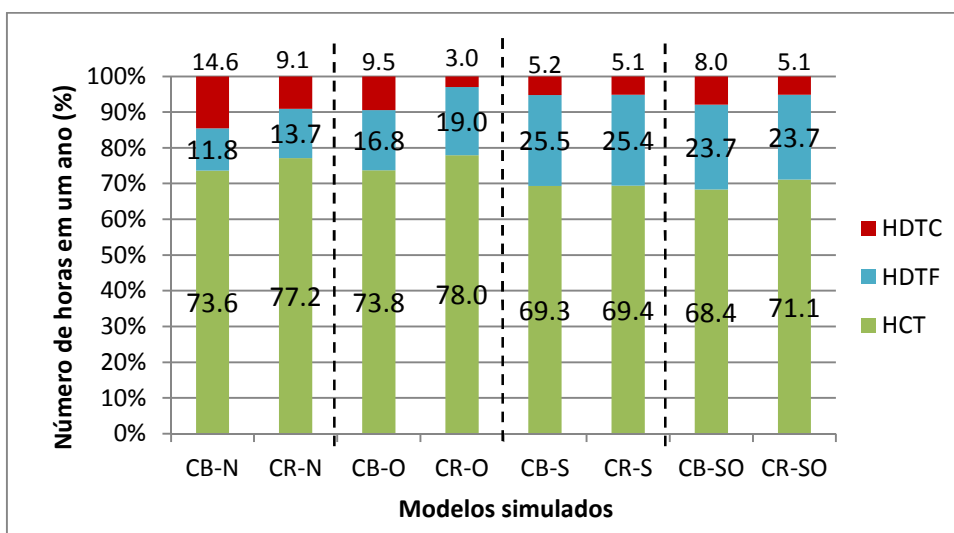


Figura 3.19- Comparação das horas em conforto térmico (HCT), horas em desconforto térmico por frio (HDTF) e horas em desconforto térmico por calor (HDTC) entre o caso base (CB) e o caso referência (CR), para o ambiente quarto 2 para diferentes orientações.

6. CONCLUSÕES

A análise de compatibilidade entre 'somb' e o nível de conforto térmico evidenciou que há mais alternativas de simulação no intervalo de compatibilidade estabelecidas (desvio de 10% ou 20% em relação ao eixo médio), quando os dados são analisados desconsiderando a restrição estabelecida pelo RTQ-R ($0 < \text{somb} < 0,5$), ou seja, 'somb' pode assumir valores entre 0 (zero) e 1 (um). Não foi possível observar o mesmo na avaliação do desconforto térmico por frio e por calor, visto que o número de alternativas nos intervalos de compatibilidade (10% e 20%) praticamente não foi alterado.

As horas de desconforto por calor foram mais sensíveis às proteções solares do que as horas de desconforto por frio ou de conforto, tanto para o caso referência quanto para as alternativas de simulação. Acredita-se que a combinação das cargas internas e a incidência solar foram as responsáveis por tal variação de aumento.

A relevância das proteções solares recomendadas pelo RTQ-R, assim como das orientações em que elas não são necessárias, foram confirmadas por quantificação. Os resultados das alternativas de simulação demonstraram que as proteções solares das aberturas a leste, nordeste e sudeste não proporcionam grandes impactos sobre o conforto térmico em Viçosa, uma vez que as melhorias encontradas foram menores que 5% (255 horas) ou até mesmo nenhuma, como a sala e o quarto 1 orientados a sudeste. Tal fato está em concordância com o RTQ-R, uma vez que este não define ângulos de sombreamento para tais orientações, não sendo, portanto, necessário o uso de proteções solares. Já as proteções dos casos referência alcançaram melhorias nas horas de conforto térmico de até 9,8% em relação ao total de horas consideradas, o que corresponde a 500 horas e até redução de 13% no desconforto térmico por calor (663 horas).

A avaliação do conforto térmico dos modelos que continham proteções solares conforme indicações do RTQ-R evidenciaram que as proteções das orientações oeste e sul, foram as que ocasionaram, respectivamente, maior e menor impacto sobre o nível de conforto térmico de todos os três ambientes de permanência prolongada, o que também está de acordo com os conceitos de geometria solar, visto que é para a orientação oeste a intensidade solar mais intensa e para a orientação sul, a menos intensa.

No entanto, a correlação da variável 'somb' com as horas de conforto térmico não foi identificada nos casos analisados, o que impossibilitou estabelecer alguma

relação que descreva a eficiência da proteção solar com as horas em conforto utilizando o indicador do RTQ-R. Deve-se destacar que nenhuma outra variável do modelo foi alterada além da proteção solar e do ambiente em que ela se encontra. Como os conceitos teóricos de concepção da proteção solar foram confirmados nas análises das proteções solares recomendadas pelo RTQ-R e das orientações em que não se recomenda sombreamento, conclui-se que a variável 'somb' não é suficiente para descrever numericamente a geometria responsável pelo desempenho da proteção solar.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15.220**:desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT.**NBR 15.575**:edifícios habitacionais - desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE–ANSI. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **Fundamentals handbook**. Atlanta, 2005.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE –ANSI. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **Standard 55-2010**: thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta, 2010.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Portaria n. 372, de 17 de setembro de 2010**. Requisitos Técnicos da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). Rio de Janeiro, 2010.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Portaria n. 18, de 16 de janeiro de 2012**. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). Rio de Janeiro, 2012.

CASTRO, A.P.A.S; LABAKI, L.C.; CARAM, R.M.; BASSO, A.; FERNANDES, M.R. Medidas de refletância de cores de tintas através de análise espectral. **Ambiente Construído**, v.3, n.2, p. 69-76, 2003.

CASTRO, G.N.; LEDER, S.M. Adequação da arquitetura ao clima: estudo de caso em João Pessoa, PB. In: ENCONTRO NACIONAL, 11e ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7, 2011, Búzios.**Anais...** Búzios: ENCAC, 2011.

CRAWLEY, D.B. et al. Energyplus: a new generation building energy simulation program. In: IBPSA BUILDING SIMULATION CONFERENCE AND EXHIBITION, 6, 1999, Kyoto. **Proceedings...** Kyoto: IBPSA, 1999.

DIDONE, E.L.; PEREIRA, F.O.R. Simulação computacional integrada para a consideração da luz natural na avaliação do desempenho energético de edificações. **Ambiente Construído**, v.10, n.4, p.1309-1354, 2010.

DORNELLES, K.A.; RORIZ, M. Métodos alternativos para identificar a absorptância solar de superfícies opacas. **Ambiente Construído**, v.7, n.3, p.109-127, 2007.

GUIMARÃES, I.B.B.; CARLO, J.C. Caracterização bioclimática da cidade de Viçosa, MG. In: ENCONTRO NACIONAL, 11 e ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7, 2011, Búzios. **Anais...** Búzios: ENCAC, 2011.

GUTIERREZ, G.C.R.; LABAKI, L.C. Associação de vidros e brise-soleil em sistemas de aberturas: análise das temperaturas internas. In: ENCONTRO NACIONAL, 11 e ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7, 2011, Búzios. **Anais...** Búzios: ENCAC, 2011.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES – LABEEE. **Analysis Sol-ar - versão 6.2**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2009b.

MEHROTRA, M. Solar control devices; balance between thermal performance and daylight. In: INTERNACIONAL CONFERENCE PASSIVE AND LOW ENERGY COOLING FOR THE BUILT ENVIRONMENT. **Proceedings...** Santorini: Passive & Low Energy Architecture, 2005.

MENDES, N.; WESTPHAL, F.S.; LAMBERTS, R.; NETO, J.A.B. Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil. **Ambiente Construído**, v.5, n.4, p. 47-68, 2005.

NICOLS, J.F.; HUMPHREYS, M.A. Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. **Energy and Buildings**, v. 34, n. 6, p. 563-572, 2002.

NIELSEN, M.V.; SVENDSEN, S.; JENSEN, L.B. Quantifying the potential of automated dynamic solar shading in office buildings through integrated simulations of energy and daylight. **Solar Energy**, v. 85, p. 757-768, 2011.

PEREIRA, I.M.; SOUZA, R.V.G. Proteção solar em edificações residenciais e comerciais – desenvolvimento de metodologia. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12, 2008, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: ANTAC, 2008.

PEREIRA, C.D. **A influência do envelope no desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ocupadas e ventiladas naturalmente.** 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

PEREIRA, C.D.; GHISI, E. The influence of the envelope on the thermal performance of ventilated and occupied houses. **Energy and Buildings**, v.43, p. 3391-3399, 2011.

RAMOS, G.; GHISI, E. Avaliação do cálculo da iluminação natural realizada pelo programa EnergyPlus. **Ambiente Construído**, v.10, n.2, p.159-169, 2010.

SANTOS, I.G.; SOUZA, R.V.G. Proteções solares no Regulamento Brasileiro de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. **Ambiente Construído**, v.12, n.1, p.227-241, 2012.

SILVEIRA, F.M.; LABAKI, L.C. Análise do desempenho térmico para edificações residenciais ventiladas naturalmente através de simulação computacional baseada em abordagem adaptativa. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14, 2012, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: ENTAC, 2012.

SORGATO, M.J. **Desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ventiladas naturalmente.** 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

TELLES, C.P.; CARLO, J.C. Comparative analysis of energy efficiency and sustainable building certification in Brazil. In: CONFERENCE, OPPORTUNITIES, LIMITS & NEEDS TOWARDS AN ENVIRONMENTALLY RESPONSIBLE ARCHITECTURE, PASSIVE & LOW ENERGY ARCHITECTURE, 2012, Lima, Peru. **Proceedings...** Lima, Peru, 2012.

VELOSO, A.C.O.; SOUZA, Roberta Vieira Gonçalves de. Análise comparativa do desempenho dos programas Domus e *EnergyPlus*. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14, 2012, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: ENTAC, 2012.

VERSAGE, R.S. **Ventilação natural e desempenho térmico de edifícios verticais multifamiliares em Campo Grande, MS.** 2009. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

CAPÍTULO 4

AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS DE ADEQUAÇÃO VISUAL POR PROTEÇÕES SOLARES DE UMA UNIDADE HABITACIONAL

Resumo: Uma iluminação adequada deve proporcionar aparência satisfatória, que permita fácil execução da tarefa e com o mínimo de esforço visual. Um aliado para o conforto visual são as proteções solares, que além de evitarem ganhos térmicos, permitem melhor distribuição da iluminação e evitam o ofuscamento. Porém, quando superdimensionadas, podem ocasionar escurecimento indesejável do ambiente e consequentemente o aumento do consumo de energia pela iluminação artificial. Por essas razões, este estudo tem como objetivo avaliar a influência das proteções solares do tipo fixas no desempenho luminoso de ambientes de permanência prolongada de uma unidade habitacional residencial e no conforto visual dos seus usuários. O método foi composto: pela modelagem do caso base (sem proteção solar), alternativas de simulação e, os casos referências (conforme RTQ-R). As iluminâncias mínimas foram consideradas conforme NBR 5413 e as máximas de 2000 lx, a análise foi feita por meio de simulação computacional pelo programa *Daysim*. Como principais resultados verificou-se que as proteções dos casos de referência reduziram o desconforto visual por ofuscamento, mas aumentaram o nível de escurecimento durante o dia, e não foi encontrada correlação entre ‘somb’ e as horas em adequação visual, não sendo, portanto esta é uma variável adequada para descrever as condições de iluminação natural em ambientes residenciais.

Palavras-chave: adequação visual, proteções solares, RTQ-R, somb, NBR 5413, *Daysim*.

1. INTRODUÇÃO

Uma boa iluminação tem por objetivo proporcionar uma aparência satisfatória do interior, fornecer luz que permita fácil execução e sem esforço de trabalhos de caráter visual, e não cause desconforto devido ao ofuscamento e à fadiga visual. Ao contrário do ocorre em países como Alemanha, Inglaterra e Argentina, que possuem normas específicas relativas à iluminação natural, no Brasil os projetos são submetidos à aprovação e autorização de construção por órgãos municipais conforme o Código de Obras. No entanto, este usa como parâmetros para cálculo da iluminação natural apenas relações simplificadas, como por exemplo, relação da área da janela em relação à área do piso, que desconsideram as questões de conforto ambiental e de conservação de energia (BRACARENSE; JOTA; ASSIS, 2009).

Muito tem sido abordado sobre edificações eficientes, como Carlo, Pereira e Lamberts(2004) que afirmam que uma edificação para ser energeticamente eficiente, deve proporcionar um balanço entre a iluminação natural e os ganhos térmicos nos

ambientes internos, em razão da radiação solar. Souza, Veloso e Mattos(2010) fazem um alerta quanto ao possível superdimensionamento das proteções solares, o que ocasiona o escurecimento dos ambientes e assim aumenta o consumo de energia pelo sistema de iluminação artificial e do condicionamento de ar. O mesmo é tratado por David et al.(2011) que afirmam que as proteções solares podem reduzir significativamente as necessidades de energia dos sistemas de refrigeração, mas podem também diminuir o conforto visual e com isso aumentar o consumo de energia da iluminação artificial. Salientam ainda que o seu dimensionamento é principalmente um processo de otimização térmica, mas sua eficiência deve ser avaliada levando em conta tanto o ponto de vista térmico quanto o visual.

O uso de dispositivos de sombreamento nas aberturas modifica a trajetória da luz natural transmitida e sua quantidade, afetando assim a iluminação natural interna tanto em termos quantitativos quanto em relação à sua distribuição espacial, sendo o primeiro em razão do bloqueio ou filtração parcial da luz natural que incide na abertura e, o segundo, devido às reflexões nos elementos da proteção solar.

Outro fator que deve ser considerado na avaliação luminosa é o Coeficiente de Luz Diurna (CLD), ou Fator de Luz Diurna (FLD) da parcela da abóbada celeste, que é usado para o cálculo da iluminância interna juntamente com o fator de luz do sol (FLS), multiplicados por sua correspondente iluminância externa (RAMOS; GHISI, 2010). O CLD é a porcentagem da luz externa disponível que incide diretamente num determinado ponto estudado, sendo medida em porcentagem. A iluminância natural útil (*Useful Daylight Illuminances* – UDI, em inglês)também é uma medida de avaliação da iluminação natural e define os intervalos de iluminância em que os níveis de iluminância úteis para o usuário, não devendo ser, portanto, nem muito escuro (quando a iluminância é inferior à 100 lx) e nem muito claro, a fim de evitar ofuscamento (quando superiores à 2000 lx) (REINHART, 2006, p.12).

2. OBJETIVOS

Avaliar a influência das proteções solares no desempenho luminoso de ambientes de permanência prolongada de uma unidade habitacional e no conforto visual dos usuários desta unidade.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Desempenho luminoso e conforto visual

O aproveitamento da iluminação natural tem grande impacto na redução do consumo de energia, porém esta não é muito considerada durante a fase de elaboração do projeto, uma vez que aspectos de conforto térmico são vistos como maior prioridade (LIMA; LEDER, 2012). Apesar de o Brasil apresentar uma abóboda celeste com intensa luminância, a iluminação natural na maioria das vezes não é muito aproveitada ou usada incorretamente, o que gera problemas tanto aos edifícios quanto aos seus usuários. Por outro lado, o Brasil, também possui calor excessivo devido ao seu clima tropical. Por isso, se a luz natural não for bem trabalhada, pode gerar um desconforto maior que os seus benefícios, principalmente em áreas de climas quentes e úmidos, já que apresenta grande incidência de radiação solar em todo o ano. A radiação solar pode ser considerada como a principal causa do desconforto térmico nas edificações, ainda mais a que incide em superfícies transparentes e na cobertura. Os ganhos térmicos destas superfícies podem ser amenizados por meio da envoltória do edifício. A luz difusa é a de melhor qualidade da iluminação natural visto que permite homogeneidade ao ambiente; já a luz direta gera desconforto térmico em razão da grande carga térmica que traz e desconforto visual devido ao ofuscamento e brilho intenso que possui (LUKIANCHUKI; CARAM, 2011).

Schmid (2005) diferencia conforto visual e adequação visual no ambiente residencial. Diferentemente de ambientes que possuem exigências produtivas, como os comerciais e institucionais e, por isso exigem iluminação conforme as indicações da antiga NBR 5413 Iluminâncias de interiores (ABNT, 1992) e a atual ISO 8995 – Iluminação de ambientes de trabalho – Parte 1: Interior (2013), o ambiente residencial tem suas particularidades. Em uma residência, um ambiente com pequena iluminância, como em penumbra, pode proporcionar conforto de acordo com a necessidade de descanso do usuário, enquanto não apresenta adequação para a realização de tarefas residenciais tais como limpeza doméstica ou manejo de objetos pessoais. O autor afirma que:

Conforto visual advém daquilo que a pessoa busca no ambiente. Pouco ajuda a luz de um lampião decorativo e aconchegante se alguém, aguardando no ponto de ônibus, tenta ler um livro de bolso. E pouco vale a perfeita iluminação de uma sala de estar se o que eu mais quero é cochilar no sofá.

Nesta condição, conforto visual para mim consiste no escuro (SCHMID, 2005, p.288).

Assim, adotou-se o termo adequação visual para os parâmetros determinados pela NBR 5413 para ambientes residenciais.

3.2. Proteções solares e a iluminação natural

A radiação solar incide sobre a envoltória da edificação, que é composta por superfícies opacas e transparentes, sendo que esta última dependendo do tipo possui diferentes desempenhos quanto à transmissão do calor e da iluminação. Os sistemas de abertura da envoltória tornam as edificações vulneráveis às variações climáticas, principalmente em relação à radiação solar. Um sistema de abertura tem como componentes, com suas respectivas funções: uma superfície transparente ou translúcida (visibilidade, transmissão, admissão de luz natural e calor), caixilhos (estrutural, estanqueidade, tipologia e controle da ventilação) e, em alguns casos, as proteções solares, (proteção da incidência da radiação solar direta, sombreamento, controle da luz natural e calor). A proteção solar interfere na ventilação e visibilidade e é influenciada pela: orientação, tipologia, material e cor. As associações que podem ser feitas por esses componentes da abertura, geram diferentes resultados sobre o ambiente interno.

Diversos fatores influenciam o comportamento da luz natural em um ambiente interno. Fatores estes que, segundo Amorim et al. (2011), podem ser: dimensão e forma dos ambientes, área e forma das aberturas, refletâncias internas e o uso de proteções solares ou elementos para distribuição da luz natural. Além dessas características da edificação, deve-se considerar as relativas à localidade, uma vez que a iluminação varia com a condição do céu, a posição do sol, latitude, época do ano e horário. Lima e Leder (2012) evidenciaram como o entorno tem forte impacto sobre a quantidade de iluminação natural. Lima e Bittencourt (2012) mostraram como diferentes configurações de brise horizontal (inclinação, espaçamento e refletância das aletas da proteção) de mesma máscara de sombra geram diferentes desempenhos térmicos e luminosos. E estudos como os de Lima et al. (2011) e Fontenelle, Claro e Araujo (2011) mostram a influência que proteções solares têm sobre a iluminação natural quando se fazem variações como: a presença ou não de proteções, tipo de céu e refletância das proteções. Já o estudo de Alzoubi e Al-Zoubi (2010) avaliou as diferentes posições das proteções solares, a fim de identificar qual a orientação ideal para as proteções solares

para obter adequado nível de iluminância no ambiente interno com mínimos ganhos de calor, e ressalta ainda a importância de se considerar, no dimensionamento das proteções, a visão do ambiente externo, uma vez que, segundo os autores, os dispositivos de sombreamento devem permitir também espaços internos agradáveis em comunicação com o exterior.

Além da importância das proteções solares quanto à entrada da radiação solar e distribuição da luz no ambiente interno, estudos como os de Mandalaki et al. (2012) têm abordado o potencial que as proteções solares fixas externas integradas a painéis fotovoltaicos têm para a produção de energia, uma vez que as proteções assumem uma configuração visando barrar a radiação incidente. A energia produzida poderia ser utilizada para o aquecimento e o resfriamento, favorecendo ainda mais a eficiência energética da edificação.

A iluminação natural tem importância quanto a aspectos funcionais ambientais e econômicos, visto que promove bem-estar, qualidade ambiental e economia de energia. Mas, segundo Albuquerque e Amorim (2012):

[...] para o uso correto da iluminação natural é fundamental o desenvolvimento de indicações que orientem e facilitem o processo de projeto, com relação às variáveis arquitetônicas da edificação (ALBUQUERQUE; AMORIM, 2012, p.55).

O RTQ-R publicado em 2010 deu continuidade ao Programa Brasileiro de Etiquetagem do Inmetro com foco para as edificações residenciais. Este regulamento apresenta pré-requisitos e bonificações para os ambientes quanto à iluminação natural, os quais são considerados na avaliação da edificação residencial. Albuquerque e Amorim (2012) apresentam o método e os resultados que deram origem as indicações utilizadas nas bonificações de iluminação natural do RTQ-R, por meio de simulações no programa *Daysim*, para identificar a influência da profundidade dos ambientes e das proteções solares. Os resultados deste estudo com 196 simulações geraram indicações sobre a profundidade limite de ambientes usados como critério no RTQ-R. Para a análise da influência das proteções solares sobre o alcance de profundidade da luz natural, foram elaborados três modelos, com mesmas características, e diferenciados apenas por proteções solares, para quatro orientações e para quatro cidades.

3.3. Simulação computacional e o programa *Daysim*

A avaliação do desempenho energético de uma edificação é algo complexo, uma vez que envolve diversas variáveis interdependentes e conceitos multidisciplinares. A simulação computacional permite representar o comportamento luminoso e energético da edificação, seja em fase de projeto ou já construída, podendo propor diferentes alternativas para eficiência energética. Assim, pela simulação computacional, é possível avaliar projetos por meio de aspectos dimensionais, padrões de uso e ocupação da edificação, dentre outros (DIDONÉ; PEREIRA, 2010). Como exemplo, cita-se o estudo de Amorim et al. (2011) que, por meio da simulação computacional estabeleceram algumas indicações de projeto quanto à profundidade máxima dos ambientes.

O *Daysim* é um programa de simulação computacional para análise da iluminação natural, desenvolvido pelo *National Research Council Canada* (NRCC), capaz de calcular as iluminâncias internas de um ambiente em um ano, que usa arquivos climáticos com dados anuais, com dados horários de radiação solar e/ou de luminâncias da abóbada celeste. O programa usa modelo tridimensional do ambiente, onde são definidas as propriedades ópticas das superfícies, enquanto dados como latitude, longitude e radiação solar são obtidos por meio do arquivo climático. Permite, ainda, identificar o consumo de iluminação artificial de acordo com os padrões de uso, iluminâncias de projeto, potência e sistema de controle da iluminação artificial (DIDONE; PEREIRA, 2010). Segundo Ramos e Ghisi (2010), ele se mostrou mais preciso para descrever os fenômenos de iluminação nas zonas de iluminação mais afastadas das aberturas verticais, em comparação com outros programas de simulação dinâmica, como o *EnergyPlus*.

O *EnergyPlus* apresenta limitações na análise da iluminação natural, porque não considera no cálculo da disponibilidade de luz natural interna e a reflexão oriunda de superfícies de sombreamento, como brises e prateleiras de luz. Já as simulações do desempenho luminoso de um ambiente pelo *Daysim* se mostram mais próximos da realidade, visto que consideram as alterações da condição do céu para definir a quantidade de luz natural em um ambiente ao longo do ano. Para isso usa os mesmos arquivos climáticos que o *DesignBuilder* e o *EnergyPlus*, fato este que permite a interação entre os resultados destes programas (MIRANDA; FERREIRA; VELOSO, 2011).

Devido às limitações do *EnergyPlus*, as análises de iluminação natural têm sido feitas de maneira integrada com o uso de dois programas de simulação, em que a avaliação dos níveis de iluminação são obtidas pelo *Daysim* e o consumo energético correspondente pelo *EnergyPlus*. Diante deste fato, Jakubiec e Reinhart (2011) propõem um novo programa de simulação, o DIVA, que permite fazer simulações luminosas e energéticas. Este faz a análise da iluminação natural de um modelo arquitetônico pela integração dos programas Radiance e Daysim, por meio da construção de um volume simples, e que também faz a análise energética. Com isso há uma rápida visualização das consequências luminosas e energéticas por meio de um modelo arquitetônico, o que permite aos usuários testar múltiplas variantes dos projetos, sem ter que exportar manualmente para outros programas.

Para a simulação de iluminação natural, recomendam-se alguns cuidados com os dados de entrada, a fim de obter resultados mais confiáveis. Osborne e Donn (2011) fazem importantes advertências quanto a fatores que podem interferir na qualidade dos resultados das simulações. Assim, analisaram o potencial de impacto sobre os resultados finais, de vários aspectos dos dados de entrada (a radiação solar externa e as iluminâncias internas sobre o plano de trabalho) que poderiam gerar incertezas nos resultados de uma simulação: as medições físicas da geometria do ambiente e das refletâncias das suas superfícies, tamanho da abertura e medidas das esquadrias, transmitância dos vidros, precisão do posicionamento e nivelamento dos sensores de iluminação interna, detalhamento geométrico, quando descartar ou ignorar dados. Entre eles os que apresentaram maior potencial de impacto foram as refletâncias internas e externas, detalhamento do modelo e o posicionamento dos sensores.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Caso base

Na simulação do caso base foram usadas proteções solares estáticas, o que significa que as proteções não têm variação horária de geometria ou posição, e que independe do usuário. Quanto aos parâmetros de simulação¹³, adotaram-se os valores *default*.

¹³ Parâmetros de precisão da simulação que são variáveis de acordo com a geometria do modelo.

O modelo casobase¹⁴ é composto por cinco zonas internas, que correspondem aos seus ambientes da UH: Zona 1 – Sala de Estar, Zona 2 – Quarto 1, Zona 3 – Quarto 2, Zona 4 – Banheiro e Zona 5 – Cozinha/Copa), como mostra a Figura 4.1.

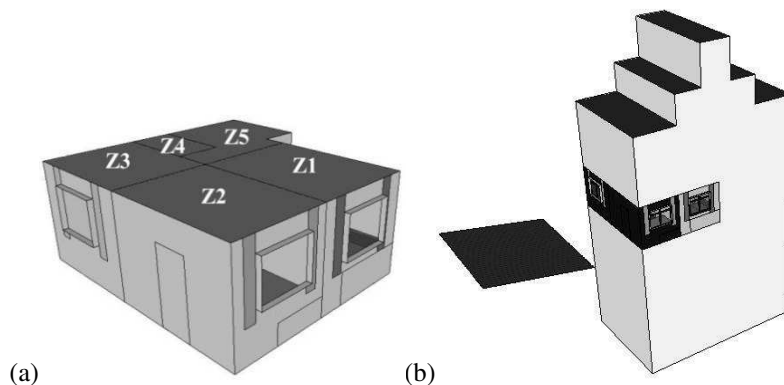


Figura 4.1- (a) as cinco zonas que correspondem a cada um dos ambientes da unidade habitacional; (b) Casobase calibrado para simulação da iluminação natural pelo Daysim.

O casobase foi calibrado e encontra-se na altura real (9 m), sem proteções solares, com alguns móveis modelados em razão das suas refletâncias (armários, cama e sofá). Sua orientação foi otimizada, como a sala (Z1) e o quarto 1 (Z2) orientados a norte visando voltar os ambientes de permanência prolongada para a melhor orientação.

A Tabela 4.1 apresenta o viesM e EQM obtidos pelo caso base.

Tabela 4.1 - Viés médio (viesM) e erro quadrático médio (EQM) do caso base, para dados simulados (S) e dados medidos (M)

	viesM	EQM	EQM total	Situação
Sala	-33,53%	51,46%		S<M
Quarto 1 (Q1)	16,48%	58,88%	63,83%	S>M
Quarto 2 (Q2)	34,80%	81,15%		S>M

¹⁴ O modelo deve ter todas as suas superfícies em tons de cinza, conforme exigência do programa.

Foram modelados o telhado externo da edificação vizinha defronte do quarto 2 com refletância de 22%, todas as superfícies externas (com refletância de 95%) e o telhado (refletância de 22%) da edificação que contém a UH estudada e as esquadrias de alumínio das janelas com refletância de 60%, conforme indicado por Lambertset al. (2005, p.85). Adotaram-se alguns parâmetros de simulação¹⁵, para os demais se manteve os valores *defaults*. Peitoris com refletâncias de: sala e cozinha com 40% e dos quartos com 27%. Os vidros das janelas possuem transmitância de 85% na sala e cozinha e 70% nos demais. As superfícies dos ambientes internos possuem refletâncias de: sala com paredes de 92%, piso de 85% e teto de 95%; cozinha com paredes de 89%, piso de 85% e teto de 95%; e os quartos com parede de 75%, piso de 55% e teto com 80%.

4.2. Caso referência

Os casos referência são o casobase acrescido de proteções solares dimensionadas conforme as determinações de ângulos de sombreamento do método alternativo do RTQ-R (BRASIL, 2012), com refletância média de 50%. Eles foram anteriormente analisados em termos de conforto térmico, como apresentado no Capítulo 3.

Os ângulos de sombreamento considerados neste estudo, são os relativos às aberturas com menos de 25% de área em relação à área do piso, como mostra a Tabela 4.2, aonde consta apenas as orientações para as quais o RTQ-R recomenda o uso de proteções solares. Como se pode ver, não são recomendados pelo RTQ-R uso de proteções solares nas orientações: sudeste, nordeste e leste.

¹⁵Conforme indicações para casos de menor complexidade (sem brises) de Reinhart (2006), assim, os valores adotados para os seguintes parâmetros de simulação foram: *ambient bounces* = 5, *ambient division* = 1000, *ambient sampling* = 20, *ambient accuracy* = 0,1, *ambient resolution* = 300, *direct threshold* = 0 e *direct sampling* = 0 (REINHART, 2006, p.25).

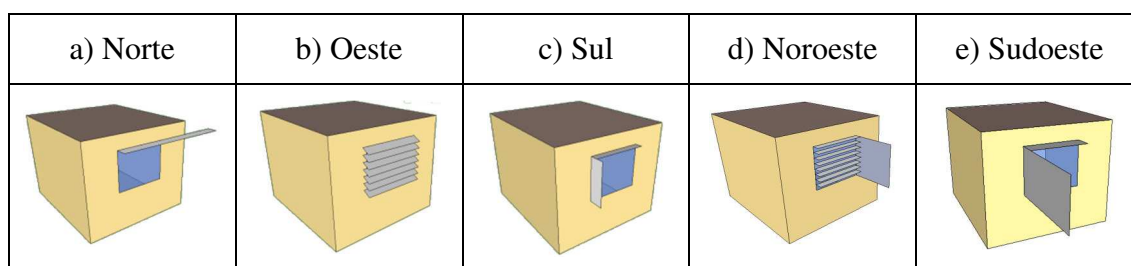
Tabela 4.2- Ângulos de sombreamento recomendados pelo RTQ-R para aberturas com área de janela <25% da área do piso (para ângulos internos)

α	βd	βe	γd	γe
Norte 25	-	-	-	60
Oeste 75	-	-	30	30
Sul 10	15	-	-	-
Noroeste α 60	βd -	βe 40	γd -	γe -
Sudoeste 20	55	-	-	-

Fonte: Brasil (2012).

As proteções solares sugeridas pelo RTQ-R (Tabela 4.2) possuem geometria como mostra o Quadro 4.1 e cujas máscaras de sombra são apresentadas pela Figura 4.2. As proteções solares horizontais das orientações oeste e noroeste (Quadro 4.1) foram modeladas contendo várias lâminas para atender o ângulo alfa sem, contudo assumir grandes projeções à frente da abertura, já as proteções solares verticais das orientações sudoeste e noroeste (Quadro 4.1) tiveram grandes projeções (de até 2,1 m) uma vez que segundo o RTQ-R tais orientações possuem apenas os ângulos beta direito e beta esquerdo, respectivamente. Logo, não era possível modelar com várias lâminas e por essa razão possui grande projeção a frente da abertura.

Quadro 4.1- Proteções solares conforme ângulos de sombreamento recomendados pelo RTQ-R



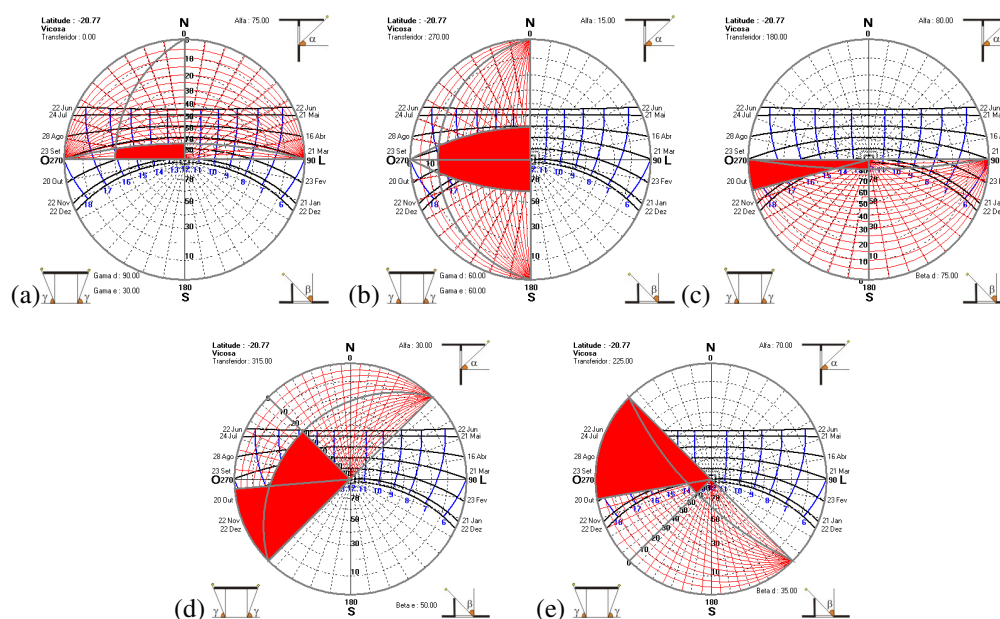


Figura 4.2- Máscara de sombra para os ângulos de proteções solares conforme o RTQ-R, para as orientações: (a) norte; (b) oeste; (c) sul; (d) noroeste e (e) sudoeste.

4.3. Alternativas de simulação

As alternativas de simulação, descritas anteriormente no Capítulo 3, são decorrentes da proposição de diferentes tipos de proteções solares, com refletâncias médias de 50%, que abrangem tantos os casos recomendados como não recomendados pelos conceitos de bioclimatologia e que já foram avaliados termicamente por simulação no *EnergyPlus*.

Neste capítulo, é exposta a análise quanto a iluminação, todas as alternativas de simulação propostas para a avaliação do conforto térmico, que foram apresentadas no Capítulo 3.

4.4. Critérios de análise dos resultados da simulação da iluminação natural

Para avaliar a relação existente entre o indicador de eficiência das proteções solares, ‘somb’, e a adequação visual proporcionada ao usuário, foram usados os seguintes critérios:

- Nível mínimo de adequação visual: 100 lx, nível mínimo estabelecido pela NBR 5413 (ABNT, 1992) para o tipo de ambiente considerado neste estudo. Este mínimo

foi usado para definir quando o usuário encontra-se em um ambiente escuro, o que está em concordância com Reinhart (2006) na sua abordagem quanto ao *Useful Daylight Illuminances* – UDI.

- Nível máximo de adequação visual: acima de 2000 lx que caracteriza uma condição de ofuscamento no ambiente interno.

A iluminação natural na UH foi analisada por 12 horas (6h às 18h), havendo ainda uma análise complementar relativa às horas de escurecimento (abaixo dos níveis mínimos estabelecidos pela NBR 5413 (ABNT, 1992)) e, por ofuscamento (iluminâncias superiores à 2000 lx).

A análise da relação existente entre o indicador de eficiência das proteções solares do RTQ-R, ‘somb’, e a adequação visual que ele proporciona ao usuário de ambientes residenciais de permanência prolongada, foi realizada por meio de dois gráficos que possuem os mesmos dados, porém com diferentes critérios de análise:

- Critério 1: considera na análise a restrição do método definido pelo RTQ-R, aonde as proteções solares possuem um valor somb entre 0 (zero) e 0,5, sendo este o vigente, ($0 < \text{somb} < 0,5$);
- Critério 2: não considera a restrição estabelecida pelo RTQ-R, podendo assim, o valor de somb variar de 0 (zero) à 1, ($0 < \text{somb} < 1$).

As análises foram feitas para 4380 horas: em adequação visual (Figuras 4.4 e 4.6), em escurecimento no dia (Figuras 4.7) e, em desconforto visual por ofuscamento (Figuras 4.8).

Os gráficos elaborados apresentam os seguintes elementos com seus respectivos significados, de acordo com a Figura 4.3:

- Eixo das abscissas: indica o percentual de horas em adequação visual de acordo com a NBR 5413 (ABNT, 1992);
- Eixo das ordenadas: indica o valor de ‘somb’, que é classificado de modo que sombigual a 0 (zero) é ausência de proteção solar e somb igual a 1 (um) indica uma proteção solar eficiente, segundo o RTQ-R (BRASIL, 2010);
- Faixa em verde: localizada na área central do gráfico, representa os resultados cujos valores de ‘somb’ apresentam compatibilidade direta com a adequação visual. Esta faixa possui ainda duas áreas distintas: uma entre linhas contínuas aonde os resultados presentes possuem compatibilidade entre o ‘somb’ e a adequação visual

para um intervalo de 10% para mais ou para menos, e outra área entre linha tracejada e contínua, com compatibilidade maior, 20% para mais ou para menos,

- Faixas em vermelho: localizadas nos extremos do gráfico, representa os resultados que não tem compatibilidade com a adequação visual, uma vez que evidenciam que mesmo para proteções solares eficientes o usuário não se encontra em situação de adequação visual e vice-versa.

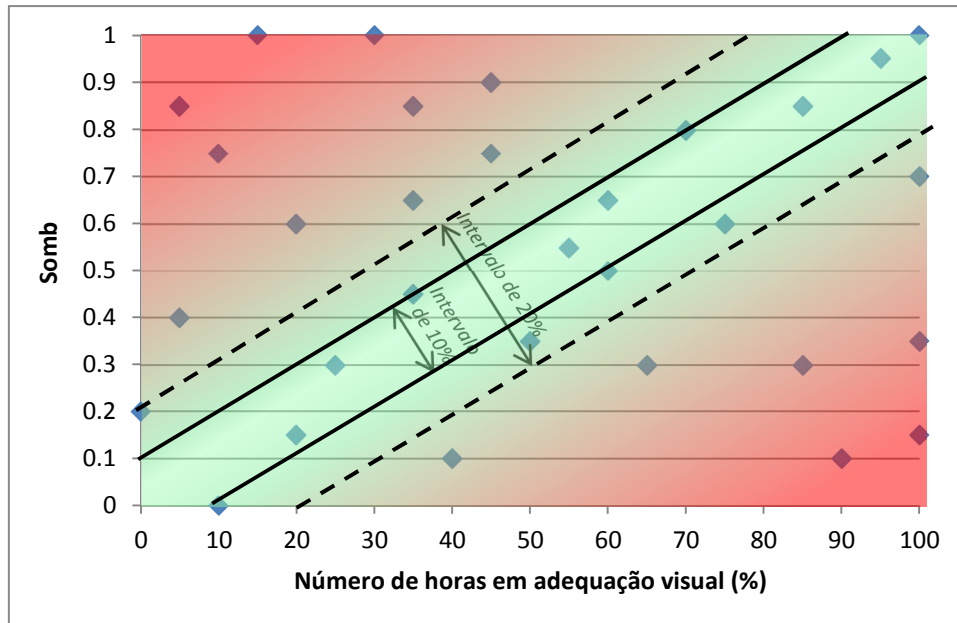


Figura 4.3 - Exemplo de apresentação dos resultados esperados.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram modeladas 31 combinações de proteção solar e orientação avaliada em três ambientes (sala e dois quartos). Assim, foram gerados resultados para 93 alternativas de simulação. Destas, 73 foram utilizadas para a análise inicial, que relaciona o grau de compatibilidade entre 'somb' e a adequação visual. As outras 20 alternativas possuem orientações para os quais o RTQ-R não recomenda proteções solares (nordeste, leste e sudeste) e, portanto, não foi possível calcular 'somb'. Posteriormente, estas alternativas desconsideradas foram analisadas individualmente, por meio da comparação com seus respectivos casos base (sem proteção solar). Como complemento, os casos referência, que possuem as proteções solares cujo

dimensionamento é recomendado pelo RTQ-R, foram também analisados de maneira individual.

5.1. Análise dos ambientes em que proteções solares são recomendadas pelo RTQ-R (alternativas de simulação)

As Figuras de 4.4a4.6 abordam a relação de compatibilidade entre ‘somb’ e a adequação visual, tendo como base de análise um dos dois critérios: critério 1 para ($0 < \text{somb} < 0,5$) e critério 2 para ($0 < \text{somb} < 1$), conforme descrito no Capítulo 3. A Figura 4.4, que adota o critério 1 de análise ($0 < \text{somb} < 0,5$) mostra que não há alternativa de simulação nos intervalos de compatibilidade de 10% e 20%. Já na Figura 4.5, que adota o critério 2 ($0 < \text{somb} < 1$), há duas alternativas (o que corresponde a 2,7% do total de 73 alternativas) no intervalo de 10% e 9 alternativas (12,3%) no intervalo de 20%. Nota-se que quando não se considera a restrição estabelecida pelo RTQ-R ($0 < \text{somb} < 0,5$), podendo assim ‘somb’ assumir valores entre 0 (zero) e 1 (um) (critério 2), encontra-se mais alternativas de simulação na faixa de compatibilidade entre o somb e a adequação visual, com uma diferença de 10 alternativas para o intervalo de 20%. O mesmo se observa para as demais alternativas, que tendem a estarem mais próximas do intervalo de compatibilidade. As alternativas de simulação estão em uma faixa cujas horas em adequação visual são elevadas, entre 70% e 90%, porém ‘somb’ não indica uma elevada eficiência da proteção solar quando se adota o critério 1, uma vez que há alternativas com ‘somb’ entre 0 e 0,5, e que apresentam o mesmo valor de horas em adequação. Observa-se, no entanto, que o caso base também apresenta um elevado número de horas em adequação visual, ou seja, a unidade habitacional encontra-se em uma situação de média a favorável mesmo sem possuir proteção solar. A correlação entre o número de horas em adequação visual e ‘somb’ foi baixa, de coeficiente de determinação de 0,1895. As diferenças entre as horas em adequação visual das alternativas e de seus respectivos casos base foram em média de 3,1%, com máxima de 12,3% e desvio padrão de 2,9%, o que corresponde a uma diferença média de 136 horas, diferença máxima, de 539 horas e desvio padrão de 127 horas. Percebem-se, então, grandes melhorias na adequação visual, de até 539 horas no ano.

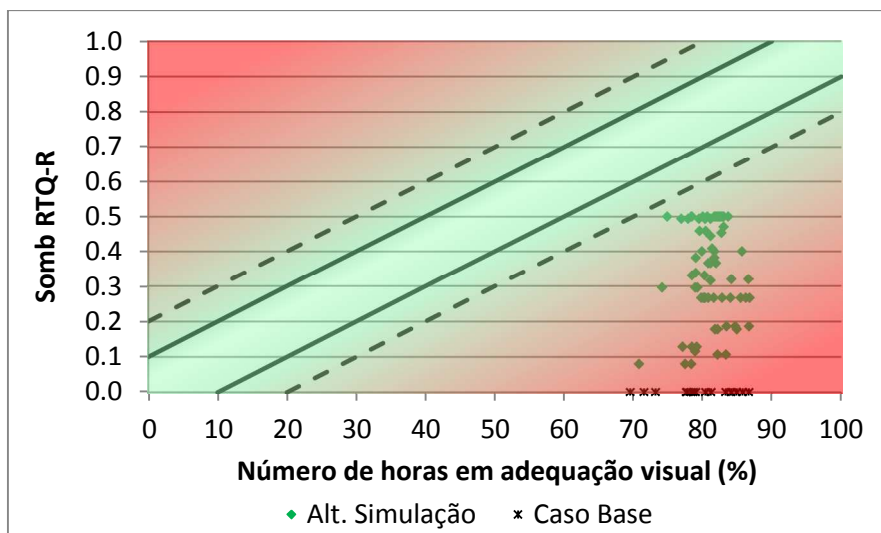


Figura 4.4 - Horas em adequação visual obtidas pelas alternativas de simulação em função do 'somb', conforme análise pelo critério 1 ($0 < \text{somb} < 0,5$).

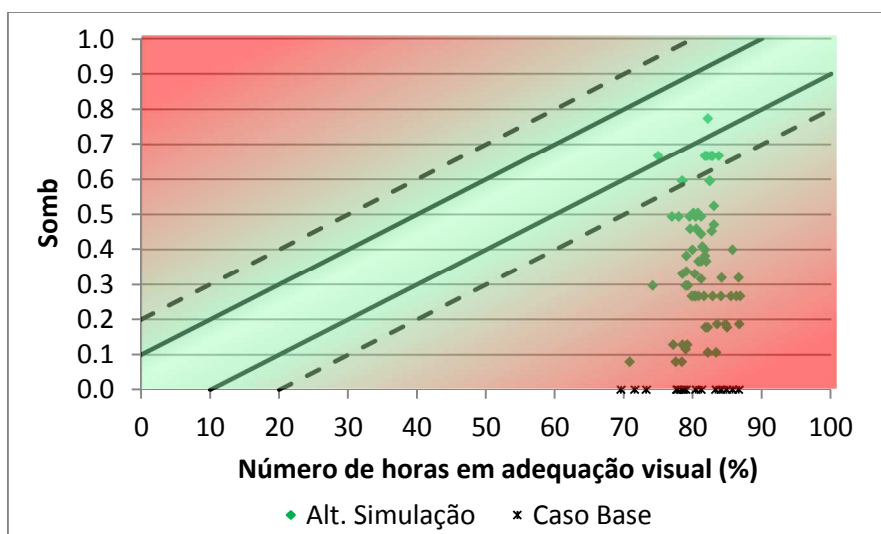


Figura 4.5 - Horas em adequação visual obtidas pelas alternativas de simulação em função do 'somb', conforme análise pelo critério 2 ($0 < \text{somb} < 1$).

A análise das Figuras 4.4 e 4.5 foi feita a partir de uma hipótese de correlação entre 'somb' e as horas em adequação visual, que não ocorreu. A variação no eixo das abscissas (número de horas em adequação visual, em escurecimento durante o dia ou desconforto visual por ofuscamento), é bem menor do que do eixo das ordenadas ('somb'). Como exemplo, observa-se na Figura 4.6, para um caso base (marcação em preto) que possui 78,33% de adequação visual e 'somb' igual a 0 (zero), quando

acrescido de uma proteção solar (marcação em vermelho) cujo 'somb' é 0,8, apresentou 82,11% de nível de adequação visual, ou seja, para uma variação do 'somb' de 80%, a melhoria foi pequena, de 3,78%.

As Figuras 4.6 a 4.8 mostram a dispersão dos casos a partir da delimitação de um intervalo no eixo das abscissas, de acordo com horas em adequação visual, em escurecimento no dia ou desconforto visual por ofuscamento do caso base. Assim, a Figura 4.6 apresenta um mínimo de 65% no eixo das abscissas, visto que as horas em adequação visual no caso base variaram entre 65% e 90%, como foi mostrado na Figura 4.5.

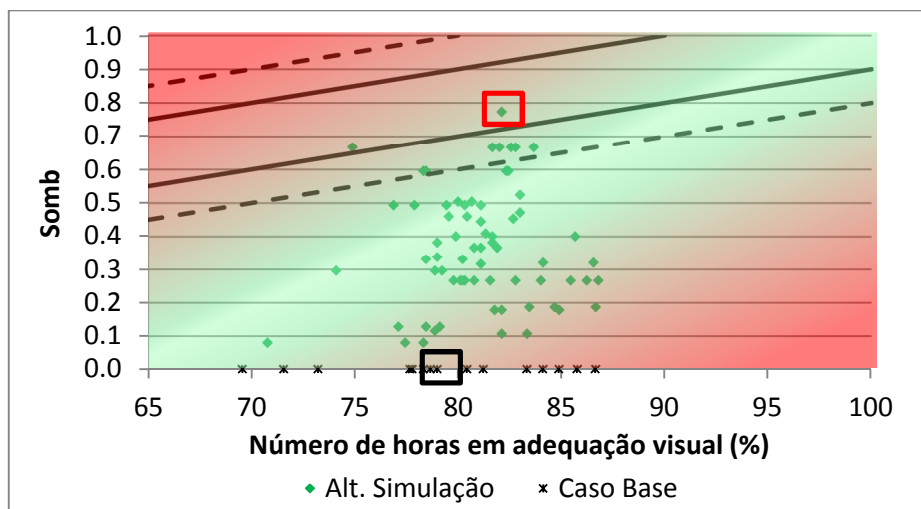


Figura 4.6 - Horas em adequação visual obtidas pelas alternativas de simulação em função do 'somb', conforme análise pelo critério 2 ($0 < \text{somb} < 1$), com limitação do eixo das abscissas em função do caso base.

Para a análise do percentual de horas em escurecimento durante o dia (Figura 4.7), o limite máximo do intervalo de variação do caso base de 25%, foi ultrapassado para 30%, pois a inserção de uma proteção solar pode aumentar o nível de escurecimento do ambiente. Novamente, a correlação entre as horas em escurecimento e 'somb' foi baixa, de 0,1461, e a diferença entre o percentual de horas em escurecimento das alternativas e de seus respectivos casos base foi, em média, de 3% (131 horas), com máxima de 10,2% (447 horas), mínima de 0,3% (13 horas) e, desvio padrão de 1,9% (83 horas).

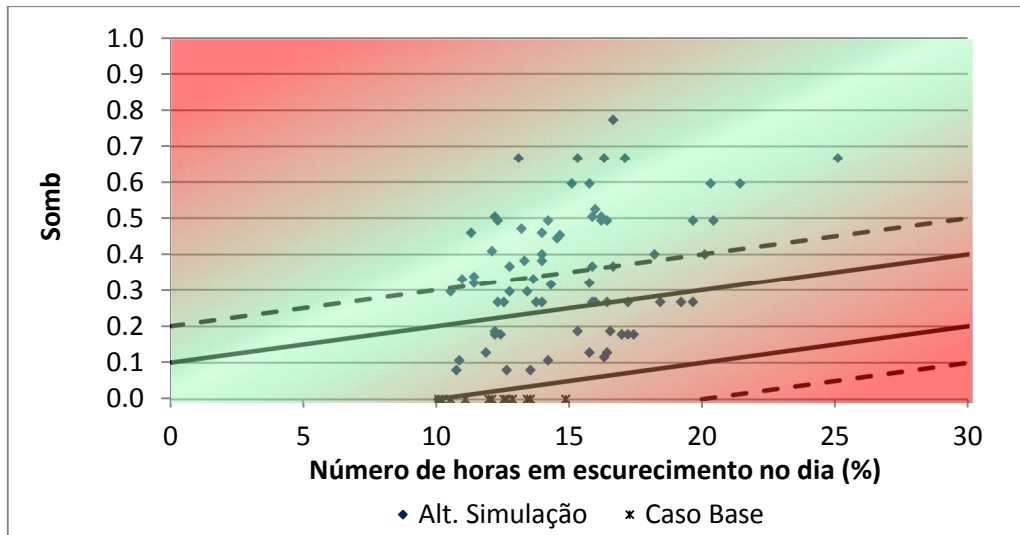


Figura 4.7- Horas em escurecimento no dia obtidas pelas alternativas de simulação em função do 'somb', conforme análise pelo critério 2 ($0 < \text{somb} < 1$), com limitação do eixo das abscissas em função do caso base.

Já para o caso do desconforto visual por ofuscamento (Figura 4.8), adotou-se o percentual máximo de horas alcançadas pelo caso base no eixo das abscissas, uma vez que o uso de proteções solares permite a redução da incidência direta da radiação e, conseqüentemente, reduz o desconforto visual por ofuscamento. A correlação foi ainda baixa, embora melhor que os casos anteriores, de 0,4458. As diferenças foram: média de 4,7% (206 horas), máxima de 15,8% (692 horas), mínima de 0,1% (4 horas) e desvio padrão de 3,6% (158 horas). As diferenças entre alternativas de simulação e seus casos base, foram mais significativas no desconforto visual por ofuscamento. Houve até mesmo alternativas cujo número de horas em desconforto por ofuscamento foi zero, na orientação sul.

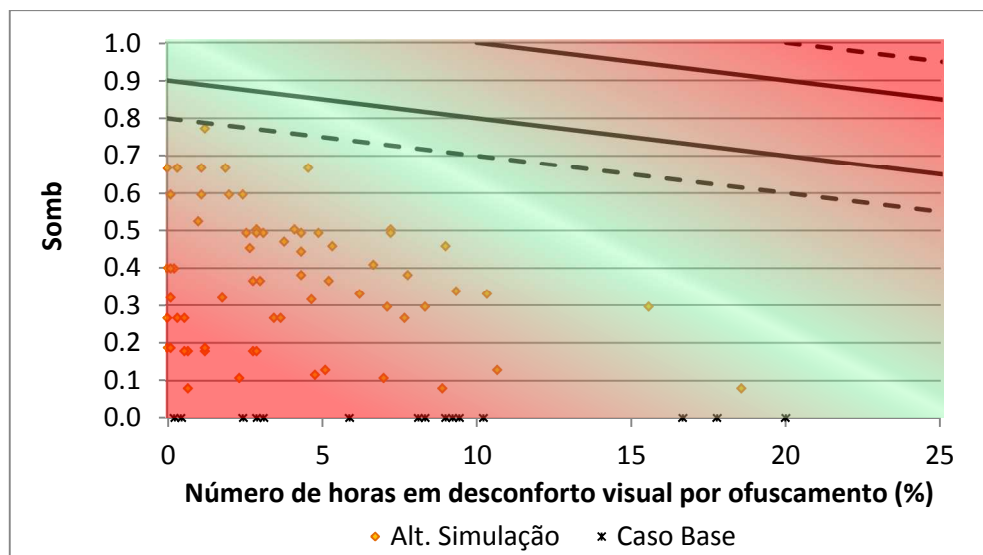


Figura 4.8- Horas em desconforto visual por ofuscamento obtidas pelas alternativas de simulação em função do 'somb', conforme análise pelo critério 2 ($0 < \text{somb} < 1$), com limitação do eixo das abscissas em função do caso base.

Assim, a escala de variação do eixo das abscissas foi determinada conforme os intervalos dos níveis de adequação visual, escurecimento e desconforto visual por ofuscamento do caso base. Por haver baixa correlação entre 'somb' e os níveis de adequação, escurecimento e desconforto visual por ofuscamento (Figuras 4.6 a 4.8). As linhas contínuas e tracejadas presentes nas figuras, que eram os limites do intervalo de compatibilidade entre 'somb' e as horas em adequação visual ou desconforto, assim como a faixa verde, não puderam ser utilizadas ou alteradas para análise do impacto do 'somb' no conforto visual do usuário. De fato, o 'somb' foi elaborado por meio de análises térmicas de Versage (2009) e de Santos e Souza (2012), com base em graus hora de desempenho térmico da edificação no primeiro e em temperaturas neutras e intensidade de radiação incidente, no segundo. Devido à relação da iluminação com a radiação solar, esperava-se encontrar alguma correlação, mesmo que média, entre o 'somb' e as iluminâncias internas, o que não se confirmou.

5.2. Análise dos ambientes em que proteções solares não são recomendadas pelo RTQ-R (alternativas de simulação)

Segundo as recomendações do RTQ-R, as orientações leste, nordeste e leste não necessitam de proteções solares. Para avaliar tal fato, foram simulados os 20 ambientes anteriormente desconsiderados, com a presença de proteções solares,

conforme as alternativas de simulação. Observa-se que houve, para algumas alternativas com orientação leste, uma melhoria no nível de adequação visual de 7,4% (324 horas) para a sala, que é o caso da alternativa 3D (Figura 4.9), para o quarto 1 foi de 1,7% (74 horas) para as alternativas 3D e 8D (Figura 4.10) e, para o quarto 2 foi de 1,8% (79 horas) para a alternativa 8A (Figura 4.11). Mas também ocorreram pequenas reduções da adequação visual nas alternativas 6C para o quarto 1 (0,9%) e 7A para o quarto 2 (2%), quando orientados a leste.

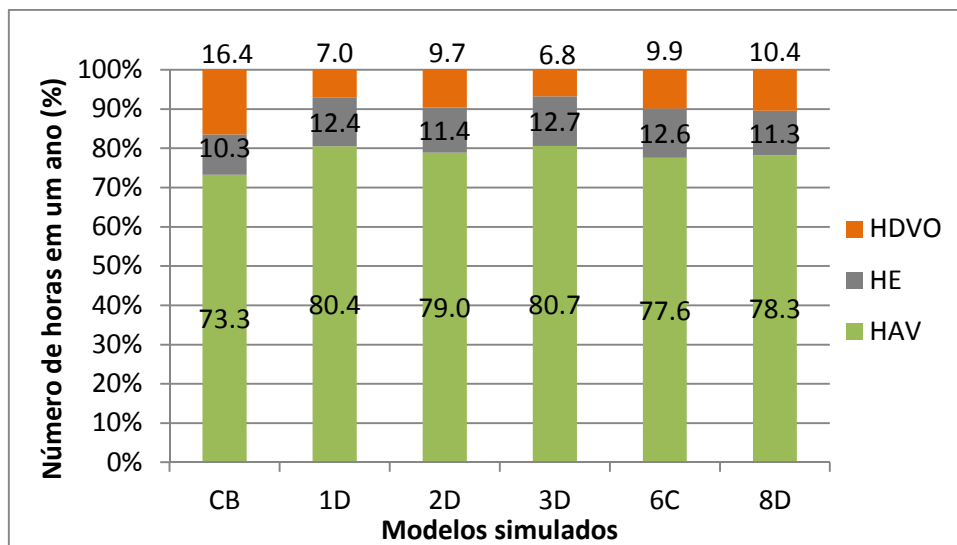


Figura 4.9- Comparação das horas em adequação visual (HAV), horas em escurecimento no dia (HE) e horas em desconforto visual por ofuscamento (HDVO), entre o caso base (CB) e as alternativas de simulação (1D, 2D, 3D, 6C e 8D), para o ambiente sala com orientação leste.

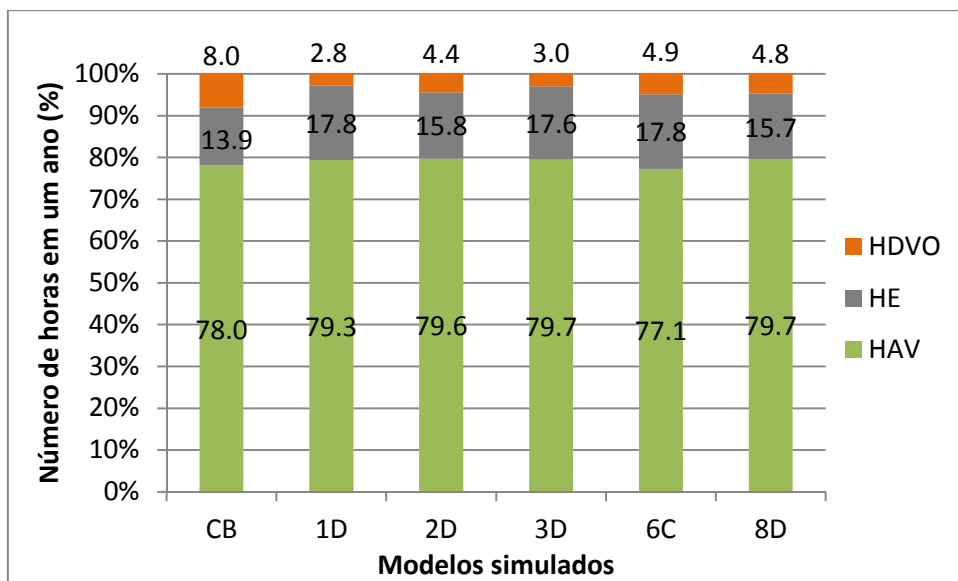


Figura 4.10- Comparação das horas em adequação visual (HAV), horas em escurecimento no dia (HE) e horas em desconforto visual por ofuscamento (HDVO), entre o caso base (CB) e as alternativas de simulação (1D,2D,3D,6C e 8D), para o ambiente quarto 1 com orientação leste.

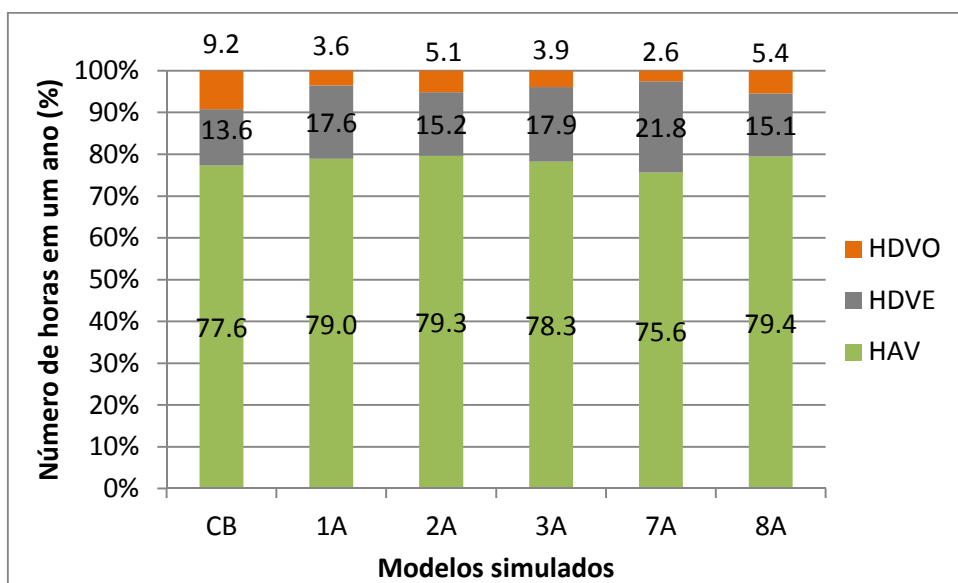


Figura 4.11 - Comparação das horas em adequação visual (HAV), horas em escurecimento no dia (HE) e horas em desconforto visual por ofuscamento (HDVO), entre o caso base (CB) e as alternativas de simulação (1A,2A,3A,7A e 8A), para o ambiente quarto 2 com orientação leste.

Para a orientação nordeste, foi simulado apenas o ambiente quarto 2 (Figura 4.12), sendo as alternativas 3E e 5A as que tiveram maior aumento no nível de adequação visual, cada uma com 2,7% (118 horas). E para a orientação sudeste, a sala e o quarto 1 (Figura 4.13) tiveram, em relação ao caso base (sem proteções solares), um aumento do nível de adequação visual de 3% (131 horas) para a sala e uma redução de 2,2% (96 horas) para o quarto 1.

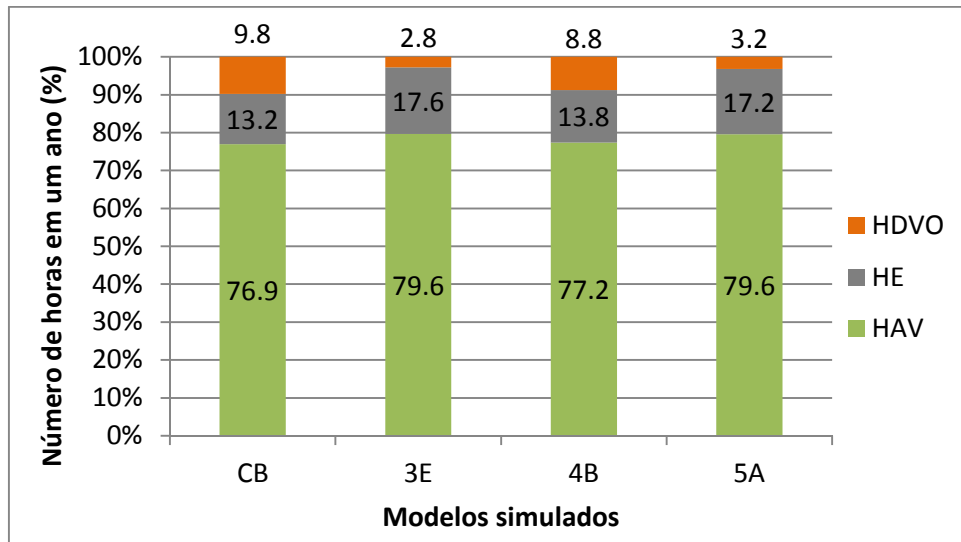


Figura 4.12- Comparação das horas em adequação visual (HAV), horas em escurecimento no dia (HE) e horas em desconforto visual por ofuscamento (HDVO), entre o caso base (CB) e as alternativas de simulação (3E, 4B e 5A), para o ambiente quarto 2 com orientação nordeste.

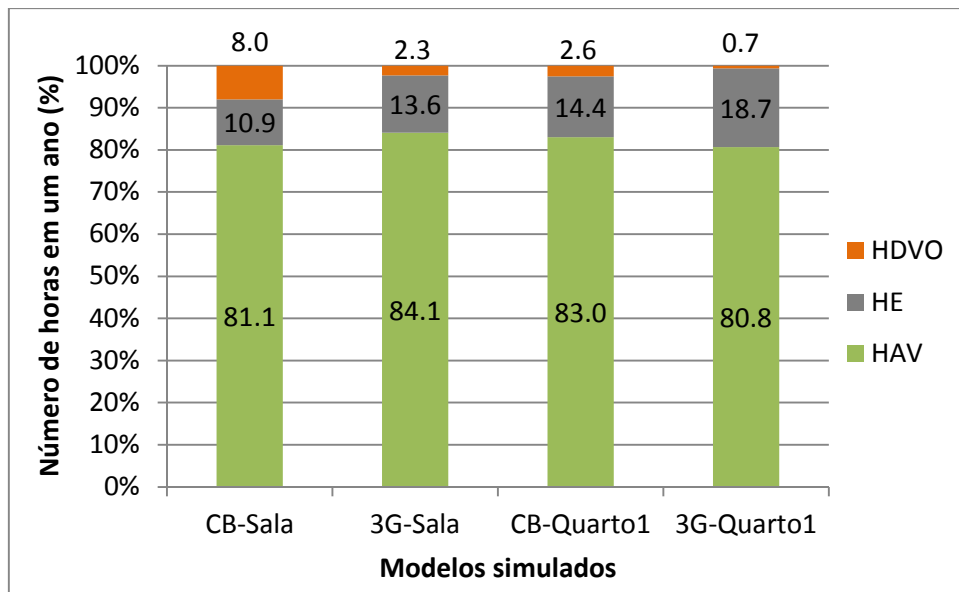


Figura 4.13- Comparação das horas em adequação visual (HAV), horas em escurecimento no dia (HE) e horas em desconforto visual por ofuscamento (HDVO), entre o caso base (CB) e as alternativas de simulação (3G para ambos), para os ambientes sala e quarto 1 com orientação sudeste.

5.3. Análise dos ambientes com proteções solares recomendadas pelo RTQ-R (caso referência)

Este item apresenta cada ambiente de permanência prolongada, sala (Figura 4.14), quarto 1 (Figura 4.15) e quarto 2 (Figura 4.16), e suas respectivas horas em adequação visual entre o casobase e o caso referência correspondente, para diferentes orientações (norte, oeste, sul e sudoeste). Para melhor visualização, inseriu-se sobre o gráfico uma linha vertical tracejada, que separa as diferentes orientações analisadas.

As proteções solares estabelecidas para a orientação norte foram as únicas que proporcionaram melhoria na adequação visual nos três ambientes analisados, com um aumento de 4,8% (210 horas) para a sala, 1,3% (57 horas) para o quarto 1 e 3,1% (136 horas) para o quarto 2. A proteção solar indicada para a orientação sul gerou uma redução nas horas de adequação visual de 0,4% para a sala, 1,3% para o quarto 1 e 0,9% para o quarto 2, o que faz sentido considerando-se que a frequência de incidência de radiação solar nessa orientação é limitada a uma pequena parte do ano. Em contrapartida, a proteção solar indicada para a orientação oeste, foi a que reduziu as horas em ofuscamento em 2,5% nos ambientes quarto 1 e quarto 2. Em todas as orientações cujas proteções solares eram recomendadas pelo RTQ-R (norte, oeste, sul e sudoeste), houve

aumento do número de horas em escurecimento e redução do desconforto visual por ofuscamento, o que também procede com os conceitos de iluminação. As seguintes observações podem ser feitas sobre o caso referência em relação ao caso base: a) as horas em adequação visual apresentaram diferença média de 3,4% (149 horas), máxima de 12,4% (543 horas) e desvio padrão de 3,9% (171 horas); b) as horas em escurecimento no dia apresentaram diferença média de 5% (219 horas), máxima de 17,2% (753 horas), mínima de 0,1% (4 horas) e desvio padrão de 5,6% (245 horas); c) as horas em desconforto visual por ofuscamento apresentaram diferença média de 5,6% (245 horas); máxima de 18,3% (801 horas) e desvio padrão de 5,6% (245 horas). Observa-se que os casos referência apresentaram menores horas de desconforto visual por ofuscamento em relação ao caso base, com uma redução de 801 horas.

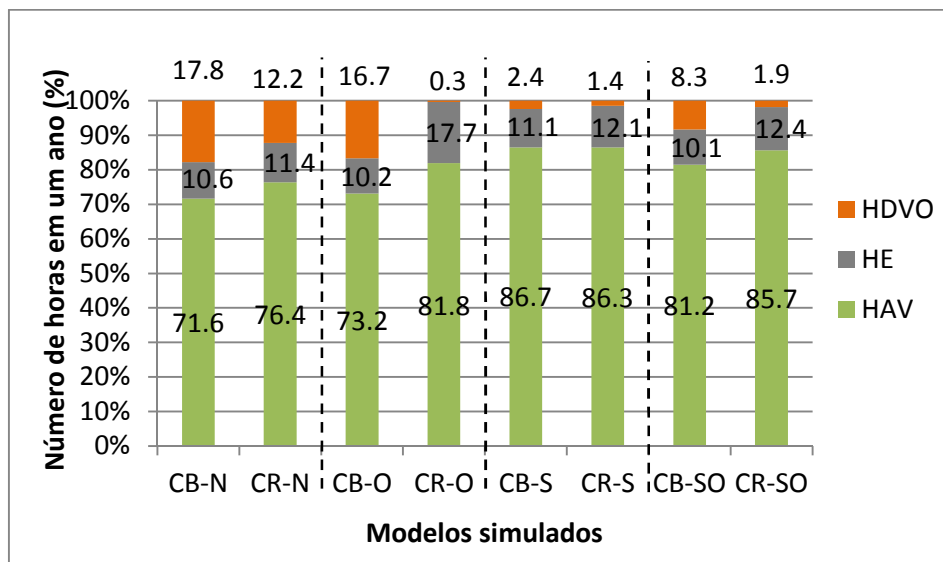


Figura 4.14- Comparação das horas em adequação visual (HAV), horas em escurecimento no dia (HE) e horas em desconforto visual por ofuscamento (HDVO), entre o caso base (CB) e o caso referência (CR), para o ambiente sala, para diferentes orientações.

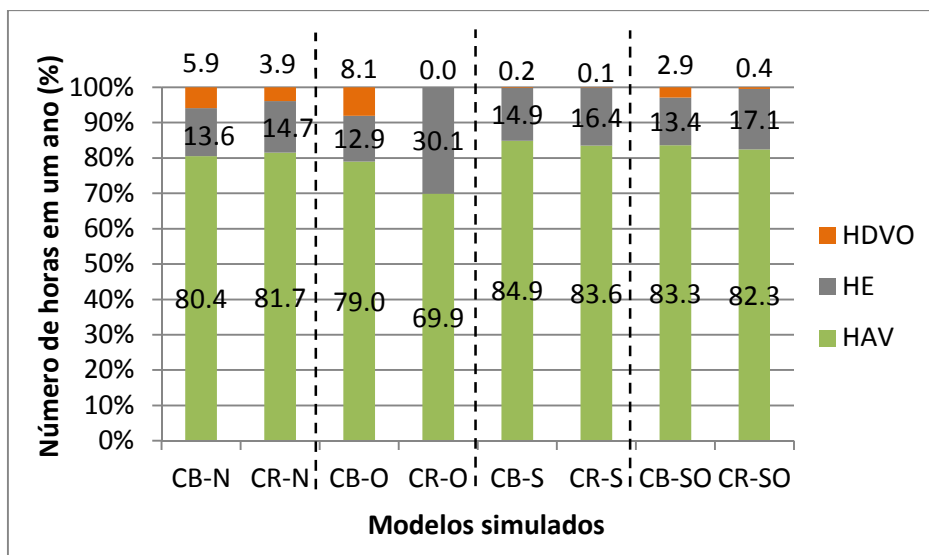


Figura 4.15- Comparação das horas em adequação visual (HAV), horas em escurecimento no dia (HE) e horas em desconforto visual por ofuscamento (HDVO), entre o caso base (CB) e o caso referência (CR), para o ambiente quarto 1, para diferentes orientações.

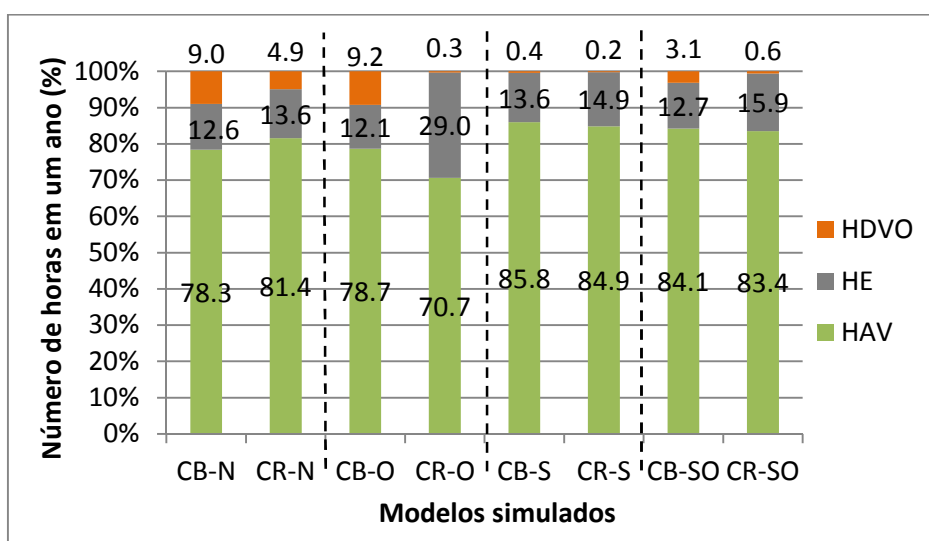


Figura 4.16- Comparação das horas em adequação visual (HAV), horas em escurecimento no dia (HE) e horas em desconforto visual por ofuscamento (HDVO), entre o caso base (CB) e o caso referência (CR), para o ambiente quarto 2, para diferentes orientações.

6. CONCLUSÃO

A análise de compatibilidade entre 'somb' e o nível de adequação visual evidenciou que há mais alternativas de simulação no intervalo de compatibilidade de 20% quando os dados são analisados desconsiderando a restrição estabelecida pelo RTQ-R ($0 < \text{somb} < 0,5$), ou seja, 'somb' pode assumir valores entre 0 (zero) e 1 (um). Tal conclusão pode ser estendida aos parâmetros de escurecimento ou desconforto por ofuscamento depois de estabelecidos os limites para o eixo das abscissas. Assim, o eixo do percentual de horas limitado a 30% de horas de escurecimento no dia e 25% de horas de desconforto visual por ofuscamento permitiu melhor análise de sua relação com 'somb', embora ela tenha sido restrita.

As orientações leste, nordeste e sudeste, em que as proteções não são recomendadas pelo RTQ-R, proporcionam impactos sobre o nível de adequação visual de até 7,4% (324 horas). O aumento do nível de adequação visual foi o menor de todos os grupos (alternativas de simulação e casos referência) e, portanto, está em concordância com o RTQ-R.

A avaliação da adequação visual dos modelos que continham proteções solares conforme indicações do RTQ-R, evidenciou que apenas para a orientação norte houve aumento do nível de adequação visual em até 210 horas para a sala, enquanto a orientação oeste foi, dentre as estudadas a que obteve significativa redução do ofuscamento nos quartos. Ficou evidente também, que as proteções dos casos referências são eficientes para reduzir o desconforto visual por ofuscamento, porém aumentam o nível de escurecimento no dia.

Não foi encontrada correlação entre 'somb' e horas de adequação visual, escurecimento ou desconforto por ofuscamento. No momento em que se instala uma proteção solar, a adequação ou desconforto não é compatível com a variável que a descreve, o 'somb'. Deve-se lembrar que o 'somb' foi desenvolvido para parâmetros de avaliação do desempenho térmico, e esperava-se que a relação com os aspectos luminosos seria uma consequência do desempenho da proteção à radiação solar. Entretanto, as proteções solares recomendadas pelo RTQ-R, que foram analisadas nos casos referência sem uso do 'somb', apresentaram um desempenho visual condizente com os conceitos de geometria solar e iluminação. Assim, verificou-se que 'somb' não é adequado para descrever as condições de iluminação natural no ambiente residencial,

embora as indicações do anexo do RTQ-R referente ao dimensionamento das proteções estejam compatíveis com os níveis de adequação, escurecimento e desconforto visual.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALZOUBI, H.H.; AL-ZOUBI, A.H. Assessment of building façade performance in terms of daylighting and the associated energy consumption in architectural spaces: Vertical and horizontal shading devices for southern exposure facades. **Energy Conversion and Management**, v.51, p.1592-1599, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT.NBR 5413: iluminância de interiores. Rio de Janeiro, 1992. 13p.

ALBUQUERQUE, M.S.C.; AMORIM, C.N.D. Iluminação natural: indicações de profundidade-limite de ambientes para iluminação natural no Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais – RTQ-R. **Ambiente Construído**, v.12, n.2, p.37-57, 2012.

AMORIM, C.N.D.; CINTRA, M.S.; SUDBRACK, L.O.; CAMOLESI, G.E.; SILVA, C. Simulação de iluminação natural em cidades brasileiras: a influência da profundidade dos ambientes residenciais. In: ENCONTRO NACIONAL, 11e ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7, 2011, Búzios. **Anais...** Búzios: ENCAC, 2011.

BRACARENSE, M.S.S.; JOTA, P.R.D.; ASSIS, E.S. Métodos de estimativa de iluminação natural em sistemas laterais – estudos de casos. In: ENCONTRO NACIONAL, 10e ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6, 2009, Natal. **Anais...** Natal: ENCAC, 2009.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Portaria n. 18, de 16 de janeiro de 2012.** Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). Rio de Janeiro: 2012.

CARLO, J.C.; PEREIRA, F.O.R.; LAMBERTS, R. Iluminação natural para redução do consumo de energia de edificações de escritório aplicando as propostas de eficiência energética para o código de obras do Recife. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10, 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2004.

DAVID, M.; DONN, M.; GARDE F.; LENOIR, A. Assessment of the thermal and visual efficiency of solar shades. **Building and Environment**, v.46 p.1489-1496, 2011.

DIDONE, E.L.; PEREIRA, F.O.R. Simulação computacional integrada para a consideração da luz natural na avaliação do desempenho energético de edificações. **Ambiente Construído**, v.10, n.4, p.1309-1354, 2010.

FONTENELLE, M.R.; CLARO, A.; ARAUJO, B.C.D. Influência de elementos de proteção solar no conforto lumínico de um edifício residencial multifamiliar em Fortaleza, CE.In: ENCONTRO NACIONAL, 11eENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO,7, 2011, Búzios. **Anais...** Búzios: ENCAC, 2011.

JAKUBIEC, J. Alstan; REINHART, Christoph F. DIVA 2.0: integrating daylight and thermal simulations using Rhinoceros 3D, Daysim and EnergyPlus.In: CONFERENCE OF INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION ASSOCIATION, 12, 2011, Sydney.**Proceedings...** Sydney, 2011.

KIM, K.; KIM, B.S.; PARK, S. Analysis of design approaches to improve the comfort level of a small glazed-envelope building during summer. **Solar Energy**, v.81 p.39-51, 2007.

LAMBERTS, R.; GHISI, E.; ABREU, A.L.P.; CARLO, J.C. **ECV 5161 – Desempenho térmico de edificações**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

LIMA, K.M.; NOGUEIRA, F.H.S.; PASSOS, I.C.S.; MAIA, S.S.; BITTENCOURT, L.S. A influência das proteções solares na iluminação natural no edifício sede da COMPESA.In: ENCONTRO NACIONAL, 11eENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO,7, 2011, Búzios. **Anais...** Búzios: ENCAC, 2011.

LIMA, K.M.; BITTENCOURT, L.S. Efeito do espaçamento, inclinação e refletância de brises horizontais com mesma máscara de sombra na iluminação natural e ganhos térmicos em escritórios em Macéio, AL.In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14, 2012, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: ENTAC, 2012.

LIMA, E.F.C.; LEDER, S.M. Iluminação natural: estudo de caso através de simulação natural e medição *in loco*.In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14, 2012, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: ENTAC, 2012.

LUKIANCHUKI, M.A.; CARAM, R.M. Estratégias de insolação e iluminação natural na obra de João Filgueiras Lima, Lelé: Hospitais Sarah de Salvador e Rio de Janeiro. In: ENCONTRO NACIONAL, 11eENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO,7, 2011, Búzios. **Anais...** Búzios: ENCAC, 2011.

MANDALAKI, M.; ZERVAS, K.;TSOUTSOS, A.; VAZAKAS, A. Assessment of fixed shading devices with integrated PV for efficient energy use.**Solar Energy**, v.86, p. 2561-2575, 2012.

MIRANDA, I.P.; FERREIRA, C.C.; VELOSO, A.C.O. Os impactos da proteção solar no conforto visual e desempenho energético: estudo de caso de um edifício comercial em São Paulo. In: ENCONTRO NACIONAL, 11eENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO,7, 2011, Búzios. **Anais...** Búzios: ENCAC, 2011.

OSBORNE, Jake; DONN, Michael. Defining parameters for a quality daylight simulation validation dataset. In: CONFERENCE OF INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION ASSOCIATION, 12, 2011, Sydney. **Proceedings...** Sydney, 2011.

RAMOS, G.; GHISI, E. Avaliação do cálculo da iluminação natural realizada pelo programa *EnergyPlus*. **Ambiente Construído**, v.10, n.2, p.159-169, 2010.

REINHART, C.F. **Tutorial on the use of Daysim simulations for sustainable design**. Ottawa: Institute for Research in Construction National Research Council Canada, 2006.

ROCHA, A.P.A.; PEREIRA, F.O.R. Avaliação do consumo de energia de edificações considerando a luz natural e sistemas de controle através de simulação computacional integrada. In: ENCONTRO NACIONAL, 11eENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO,7, 2011, Búzios. **Anais...** Búzios: ENCAC, 2011.

SCHMID, A.L. **A idéia de conforto**: reflexões sobre o ambiente construído. Curitiba: Pacto Ambiental, 2005.338p.

SOUZA, R.V.G.; VELOSO, A.C.O.; MATTOS, T.R. **Proteção solar em edificações**: desenvolvimento de metodologia para bonificação no RTQ-R. Disponível em: <<http://www.aresarquitectura.com.br/downloads/SBBrasil.pdf>>. Acesso em: 13 mar. 2012.

CAPÍTULO 5

DISCUSSÃO GERAL

Embora ‘somb’ seja uma variável presente no RTQ-R em uma equação de regressão linear, a sua relação com as condições de conforto e desconforto, tanto térmico quanto visual¹⁶ não se mostrou linear como esperado. A análise realizada evidenciou uma variação no eixo das ordenadas (somb) sem proporção identificável no eixo das abscissas (número de horas em conforto ou desconforto, ou adequação). Tanto o modelo térmico como o de iluminação encontrou-se baixa correlação entre o ‘somb’ e os níveis de conforto, e por isso não foi possível identificar um intervalo de compatibilidade.

Não se encontrou, por meio deste estudo, uma justificativa para a restrição dos valores de somb que o RTQ-R determina em seu método ($0 < \text{somb} < 0,5$), uma vez que os resultados com ‘somb’ chegando até 1 aproximaram-se mais do intervalo de compatibilidade esperada, como mostrado na análise de horas em conforto térmico e em adequação visual.

Os conceitos gerais de desempenho térmico, usados para estabelecer os critérios quantitativos do RTQ-R para o sombreamento, incidência solar e temperatura neutra, foram comprovados pelas simulações. As proteções solares recomendadas pelo RTQ-R proporcionaram melhorias nos níveis de conforto térmico de até 9,8% das horas estudadas (o que corresponde a 500 horas do total de 5.110 horas), enquanto as proteções solares nas orientações em que o sombreamento não é recomendado alcançaram menos de 5% de melhorias (255 horas).

Já os critérios avaliados para a iluminação natural foram uma consequência dos critérios visando o desempenho térmico da envoltória. Em contraste, as horas de adequação visual do caso base foram maiores na análise da iluminação do que na análise do conforto térmico. Entre 70% e 90% para iluminação e 60% e 80% para o térmico. Portanto, o potencial de melhoria foi maior em número de horas para a iluminação. Entretanto, embora os impactos no desempenho visual tenham sido relevantes com a instalação das proteções solares, ‘somb’ não descreveu apropriadamente a geometria de tais proteções para que ele possa ser considerado um

¹⁶ O que inclui a adequação.

indicador de eficiência energética da proteção. Se ele apresenta limitações com o conforto térmico, ele não apresentou boa descrição dos fenômenos luminosos.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÃO GERAL

Os resultados do processo de calibração do modelo térmico e de iluminação natural evidenciaram a grande importância do cuidado do registro das características da unidade habitacional em estudo para garantir a precisão dos dados de entrada. Tal fato foi observado neste estudo no contraponto da calibração do modelo de simulação térmica em relação ao modelo de simulação da luz natural. No primeiro, o registro de uso do espaço se refletiu em poucas intervenções na calibração, enquanto a ausência de dados reais de radiação solar externa incidente no local resultou em um percentual elevado de erros entre as iluminâncias internas medidas e simuladas. Pela análise dos dados na calibração pelos processos em série e em paralelo, observou-se que o primeiro é o mais indicado, porém o segundo pode ajudar a definir as alterações a serem realizadas no processo em série.

A análise de compatibilidade entre ‘somb’, calculado pelo método alternativo do RTQ-R, e o nível de conforto térmico evidenciou que há mais alternativas de simulação no intervalo de compatibilidade considerado quando se desconsidera a restrição estabelecida pelo RTQ-R ($0 < \text{somb} < 0,5$), podendo assim ‘somb’ variar entre 0 (zero) e 1 (um). No entanto, ‘somb’ não tem correlação linear com as horas em conforto térmico, embora o tenha com o desempenho térmico por graus-hora na equação de regressão do RTQ-R. Para a iluminação natural, o indicador não apresentou correlação com a adequação visual que descreva as relações geométricas de sombreamento e reflexão da luz para o ambiente interno. É importante destacar que os parâmetros quantitativos que descrevem ‘somb’ (α , β e γ) não foram desenvolvidos com parâmetros de iluminação, mas com parâmetros de desempenho térmico. Portanto, a ausência decorrelação entre ‘somb’ e a adequação visual não é uma falha do RTQ-R, porém uma limitação. Notou-se que o uso de proteções solares, tanto nas alternativas de simulação quanto nos casos referências, foram mais impactantes sobre as horas em desconforto térmico por calor, devido à combinação das cargas internas com a radiação incidente, que eleva a variação das condições de desconforto. Para a luz natural, as horas de desconforto visual por ofuscamento apresentaram as maiores variações.

A quantificação comprovou que, para os ambientes estudados, com orientações para os quais o RTQ-R não recomenda uso de proteções solares para a cidade de Viçosa

(leste, nordeste e sudeste) sofrem pouco ou nenhum impacto sobre o conforto térmico quando acrescidos de proteções solares, cujas melhorias não passaram de 5% (225 horas), enquanto os casos referências obtiveram aumento nas horas de conforto térmico em até 9,8% das horas estudadas (500 horas). O estudo dos modelos com proteções solares conforme a recomendação do método alternativo do RTQ-R evidenciou que os ambientes orientados a oeste e sul, neste estudo, obtiveram o maior e menor impacto sobre o nível de conforto térmico, respectivamente. Tais resultados confirmam, nestes casos, portanto, a coerência das recomendações do método alternativo do RTQ-R para as condições de conforto térmico.

Considerando-se que a proteção solar foi o único elemento de variação nos modelos estudados, a correlação da variável *somb* com as horas em conforto térmico, neste estudo, não foi identificada como esperado, assim como para as horas em adequação visual. No primeiro caso, acredita-se que alguma correlação possa existir entre as alternativas de um mesmo caso base, visto que as proteções solares recomendadas pelo RTQ-R apresentaram bons resultados para o conforto térmico. Além disso, o estabelecimento de um limite no eixo das horas em conforto ou desconforto térmico pode ajudar a estabelecer uma zona de compatibilidade com o 'somb'. No segundo caso, não foi possível encontrar relações semelhantes às estabelecidas para o conforto térmico, visto que o 'somb' não apresentou correlação com as horas de adequação visual e, devido às pequenas diferenças na adequação visual entre as alternativas, cujo sombreamento é recomendado e não é recomendado pelo RTQ-R. A diferença máxima entre os casos referência com proteções solares recomendadas pelo RTQ-R e seus casos base foi em torno de 12%, a diferença máxima entre alternativas e seus casos base nas orientações que o RTQ-R recomenda proteção solar foi também em torno de 12%, enquanto a diferença máxima entre as alternativas cujas orientações o RTQ-R não recomenda proteções solares e seus casos base foi de 7.4%. Portanto, tais resultados inconclusivos levam a estabelecer, que 'somb', calculado conforme o método alternativo da versão de 2012 do RTQ-R, não descreve, para este estudo, as relações geométricas necessárias para que seja usado como indicador da eficiência da proteção solar em termos luminosos.

Nos casos referências, as proteções foram eficientes para reduzir o desconforto visual por ofuscamento, mas geraram aumento do nível de escurecimento durante o dia. É interessante notar que, apesar das proteções solares terem sido construídas com base em critérios visando o desempenho térmico, as melhorias de maior impacto foram

encontradas nas horas de adequação visual do que nas horas de conforto térmico. Porém, deve-se salientar que o desempenho visual dos usuários em ambientes residenciais não apresenta a mesma relevância do que nos ambientes comerciais e industriais, exceto em caso de ofuscamento, visto que o escurecimento pode ser desejado em diversas situações.

Para futuros trabalhos sugere-se:

- Realização de uma calibração de iluminação natural com dados medidos de iluminâncias externas e, ou, radiação solar incidente em tempo real;
- Realização de pesquisa que identifique uma correlação que descreva ‘somb’ para o conforto térmico e a adequação visual;
- Proposição de uma zona de compatibilidade entre ‘somb’ e o conforto térmico e a adequação visual;
- Desenvolvimento de um indicador que integre o conforto térmico e a adequação visual.

APÊNDICE A - Alterações realizadas no modelo térmico durante o processo de calibração térmica pelo programa *EnergyPlus*

Caso 1	(alteração aprovada) Caso base.
Caso 2	Caso 1 + redução da taxa de infiltração.
Caso 3	Caso 1 + aumento da taxa de infiltração.
Caso 4	Caso 1 + acréscimo <i>schedule</i> ocupação da cozinha.
Caso 5	Caso 1 + alteração do tipo de <i>Terrain</i> de “City” para “Suburbs”.
Caso 6	Caso 1 + alteração do tipo de “City” para “Urban”.
Caso 7	Caso 1 + alteração do coeficiente de descarga de 0,78 para 0,73 (-5%).
Caso 8	Caso 1 + alteração do coeficiente de descarga de 0,78 para 0,68 (-10%).
Caso 9	Caso 1 + alteração do coeficiente de descarga de 0,78 para 0,83 (+5%).
Caso 10A = Caso 10B	Caso 1 + alteração do coeficiente de descarga de 0,78 para 0,88 (+10%).
Caso 11	Caso 1 + alteração do coeficiente de descarga de 0,78 para 0,93 (+15%).
Caso 12	Caso 1 + redução da densidade e condutividade do tijolo: densidade de 2.000 kg/m ³ para 1.300 kg/m ³ e condutividade de 1,15 W/(m.K) para 0,9 W/(m.K).
Caso 13A	(alteração aprovada) Caso 1+ redução da densidade e condutividade do tijolo: densidade de 2.000 kg/m ³ para 1.600 kg/m ³ e condutividade de 1,15 W/(m.K) para 0,9 W/(m.K).
Caso 13B	(alteração aprovada) Caso 10 + redução da densidade e condutividade do tijolo: densidade de 2.000 kg/m ³ para 1.600 kg/m ³ e condutividade de 1,15 W/(m.K) para 0,9 W/(m.K).
Caso 14A	(alteração aprovada) Caso 1 + aumento da densidade do azulejo externo de 1.300 kg/m ³ para 1.800 kg/m ³ e da condutividade de 0,9 W/(m.K) para 1,05 W/(m.K).
Caso 14B = Caso 16B	(alteração aprovada) Caso 10 + aumento da densidade do azulejo externo de 1.300 kg/m ³ para 1.800 kg/m ³ e da condutividade de 0,9 W/(m.K) para 1,05 W/(m.K).
Caso 15	Caso 1 + aumento da densidade do azulejo externo de 1.300 kg/m ³ para 2.000 kg/m ³ e da condutividade de 0,9 W/(m.K) para 1,05 W/(m.K).
Caso 16A	União das características alteradas nos casos: 1+10+13+14.
Caso 17	Caso 16 + alteração da geometria (aletas laterais = espessura parede = de 12 para 15 cm).
Caso 18	Caso 16 + aumento da carga interna: atividade do quarto (81 W), e para a cozinha de 171 W adotou-se 126 W (PEREIRA, 2009, p.62).
Caso 19	Caso 16 + absorvâncias medidas nos pisos cerâmicos: sala = 0,33; quarto 1 = 0,49; quarto 2, banho e cozinha = 0,2.
Caso 20	Caso 16 + redução da espessura da argamassa externa e interna de 0,025 m para 0,015 m.
Caso 21	Caso 16 + redução da espessura da argamassa externa e interna de 0,025 m para 0,015 m e acréscimo da camada de gesso.

- Caso 22** Caso 16 + alteração do tipo de parede, para equivalente do estudo de Ordenes *et al.* (2003)¹⁷ tipo cerâmica tijolo com 6 furos quadrado (9 cm).
- Caso 23** Caso 16 + Caso 22, reduzindo em 100 a densidade: 2.190 kg/m³.
- Caso 24** Caso 16 + Caso 22, reduzindo em 200 a densidade: 2.090 kg/m³.
- Caso 25** Caso 16+Caso 22, aumentando em 100 a densidade: 2.390kg/m³.
- Caso 26** Caso 16+Caso 22, aumentando em 200 a densidade: 2.490 kg/m³.
- Caso 27** Caso16 + mudança do tipo de parede: cerâmica tijolo com oito furos circulares (10 cm), e densidade de 1.103 kg/m³.
- Caso 28** Caso 16 + mudança do tipo de parede: cerâmica tijolo com quatro furos circulares (9,5 cm), e densidade de 3.595 kg/m³.
- Caso 29** Caso 16 + mudança do tipo de parede: cerâmica bloco com três furos quadrados (13 cm), e densidade de 2.941 kg/m³.
- Caso 30** Caso 16 + mudança do tipo de parede: cerâmica bloco com dois furos quadrados (14 cm), e densidade de 3.732 kg/m³.
- Caso 31** Caso16 + mudança do tipo de parede: cerâmica tijolo com dois furos circulares (12,5 cm), e densidade de 3.836 kg/m³.
- Caso 32** Caso16 + mudança do tipo de parede: cerâmica tijolo com seis furos quadrados (14 cm), e densidade de 909 kg/m³.
- Caso 33** Caso 16 + mudança do tipo de parede: cerâmica tijolo com 21 furos circulares (12 cm), e densidade de 2.556 kg/m³.
- Caso 34** Caso 16 + mudança da laje comum para a laje mista conforme indicação de Ordenes *et al.* (2003, p.14).
- Caso 35** Caso 16 + dados do piso cerâmico conforme Ordenes *et al.* (2003, p.14).
- Caso 36** Caso 16 + dados do tijolo maciço conforme Ordenes *et al.* (2003, p.12).
- Caso 37** Caso 16 + dados do tijolo maciço conforme Ordenes *et al.* (2003, p.12) e redução da espessura da argamassa para 0,01 m.
- Caso 38A** **(alteração aprovada)**Caso 16 + uso dos valores das refletâncias medidas dos pisos.
- Caso 38B** **(alteração aprovada)**Caso 14B + uso dos valores das refletâncias medidas dos pisos.
- Caso 39A** **(alteração aprovada)**Caso38A + uso dos valores das refletâncias medidas das paredes.
- Caso 39B** **(alteração aprovada)**Caso 38B + uso dos valores das refletâncias medidas das paredes.
- Caso 39C** **(alteração aprovada)**Caso 14B + uso dos valores das refletâncias medidas das paredes.
- Caso 40** Caso 39+ janelas fechadas a partir das 18h nos dias de medição.

¹⁷ORDENES, M.; PEDRINI, A.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. **Metodologia utilizada na elaboração da Biblioteca de Materiais e Componentes Construtivos Brasileiros para simulações no visualdoe-3.1**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, 2003. (Relatório Interno).

APÊNDICE B - Viés médio (viesM) da calibração térmica

ViésMédio – Temperatura Radiante Média (Tr)						
Casos	Ambientes	Sazonal			Ambiente	UH
		I	P	V		
1	Sala	0,02	-0,01	-0,02	0,00	0,00
	Quarto 1	-0,04	0,00	-0,04	-0,02	
	Quarto 2	0,05	-0,02	0,02	0,02	
10A=10B	Sala	0,02	-0,01	-0,02	0,00	0,00
	Quarto 1	-0,04	0,00	-0,04	-0,02	
	Quarto 2	0,05	-0,02	0,02	0,02	
13A	Sala	0,02	-0,01	-0,02	0,00	0,00
	Quarto 1	-0,04	0,00	-0,04	-0,02	
	Quarto 2	0,05	-0,01	0,02	0,02	
13B	Sala	0,02	-0,01	-0,02	0,00	0,00
	Quarto 1	-0,04	0,00	-0,04	-0,02	
	Quarto 2	0,05	-0,01	0,02	0,02	
14A	Sala	0,02	-0,01	-0,02	0,00	0,00
	Quarto 1	-0,04	0,00	-0,04	-0,02	
	Quarto 2	0,05	-0,02	0,02	0,02	
14B	Sala	0,02	-0,01	-0,02	0,00	0,00
	Quarto 1	-0,04	0,00	-0,04	-0,02	
	Quarto 2	0,05	-0,02	0,02	0,02	
16A	Sala	0,02	-0,01	-0,02	0,00	0,00
	Quarto 1	-0,04	0,00	-0,04	-0,02	
	Quarto 2	0,05	-0,01	0,02	0,02	
38A	Sala	0,04	0,01	-0,02	0,01	0,00
	Quarto 1	-0,03	0,01	-0,04	-0,02	
	Quarto 2	0,04	-0,01	0,02	0,02	
38B	Sala	0,04	0,00	-0,02	0,01	0,00
	Quarto 1	-0,03	0,01	-0,04	-0,02	
	Quarto 2	0,04	-0,01	0,02	0,02	
39A	Sala	0,08	0,02	0,01	0,04	0,02
	Quarto 1	0,01	0,02	-0,02	0,00	
	Quarto 2	0,06	-0,01	0,03	0,03	
39B	Sala	0,08	0,02	0,01	0,04	0,02
	Quarto 1	0,01	0,02	-0,02	0,00	
	Quarto 2	0,06	-0,01	0,03	0,03	
39C	Sala	0,08	0,03	0,01	0,04	0,03
	Quarto 1	0,01	0,02	-0,02	0,00	
	Quarto 2	0,06	-0,01	0,03	0,03	

Viés Médio - Temperatura de Bulbo Seco (TBS)						
Casos	Ambientes	Sazonal			Ambiente	UH
		I	P	V		
1	Sala	-0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
	Quarto 1	0,02	0,01	-0,01	0,00	
	Quarto 2	0,02	-0,02	0,00	0,00	
10A=10B	Sala	-0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
	Quarto 1	0,01	0,01	-0,01	0,00	
	Quarto 2	0,02	-0,02	0,00	0,00	
13A	Sala	-0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
	Quarto 1	0,02	0,01	-0,01	0,00	
	Quarto 2	0,02	-0,02	0,00	0,00	
13B	Sala	-0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
	Quarto 1	0,01	0,01	-0,01	0,00	
	Quarto 2	0,02	-0,01	0,00	0,00	
14A	Sala	-0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
	Quarto 1	0,02	0,01	-0,01	0,00	
	Quarto 2	0,02	-0,02	0,00	0,00	
14B	Sala	-0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
	Quarto 1	0,01	0,01	-0,01	0,00	
	Quarto 2	0,02	-0,02	0,00	0,00	
16A	Sala	-0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
	Quarto 1	0,01	0,01	-0,01	0,00	
	Quarto 2	0,02	-0,01	0,00	0,00	
38A	Sala	-0,02	0,02	0,00	0,00	0,00
	Quarto 1	0,02	0,01	-0,01	0,01	
	Quarto 2	0,02	-0,01	0,00	0,00	
38B	Sala	-0,02	0,02	0,00	0,00	0,00
	Quarto 1	0,02	0,01	-0,01	0,01	
	Quarto 2	0,02	-0,01	0,00	0,00	
39A	Sala	-0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
	Quarto 1	0,04	0,02	0,00	0,02	
	Quarto 2	0,03	-0,01	0,00	0,01	
39B	Sala	-0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
	Quarto 1	0,04	0,02	0,00	0,02	
	Quarto 2	0,03	-0,01	0,00	0,01	
39C	Sala	-0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
	Quarto 1	0,04	0,02	0,00	0,02	
	Quarto 2	0,03	-0,01	0,00	0,01	

Viés Médio - Umidade Relativa (UR)						
Casos	Ambientes	Sazonal			Ambiente	UH
		I	P	V		
1	Sala	-0,02	0,13	0,02	0,04	0,03
	Quarto 1	-0,05	0,16	0,06	0,06	
	Quarto 2	-0,13	0,12	0,01	0,00	
10A=10B	Sala	-0,02	0,13	0,02	0,04	0,03
	Quarto 1	-0,05	0,15	0,06	0,05	
	Quarto 2	-0,13	0,11	0,01	0,00	
13A	Sala	-0,02	0,13	0,02	0,04	0,03
	Quarto 1	-0,05	0,15	0,06	0,05	
	Quarto 2	-0,13	0,11	0,01	0,00	
13B	Sala	-0,02	0,13	0,02	0,04	0,03
	Quarto 1	-0,05	0,15	0,06	0,05	
	Quarto 2	-0,13	0,11	0,01	0,00	
14A	Sala	-0,02	0,13	0,02	0,04	0,03
	Quarto 1	-0,05	0,16	0,06	0,05	
	Quarto 2	-0,13	0,11	0,01	0,00	
14B	Sala	-0,02	0,13	0,02	0,04	0,03
	Quarto 1	-0,05	0,15	0,06	0,05	
	Quarto 2	-0,13	0,11	0,01	0,00	
16A	Sala	-0,02	0,13	0,02	0,04	0,03
	Quarto 1	-0,05	0,15	0,06	0,05	
	Quarto 2	-0,13	0,11	0,01	0,00	
38A	Sala	-0,03	0,12	0,02	0,04	0,03
	Quarto 1	-0,06	0,15	0,06	0,05	
	Quarto 2	-0,13	0,11	0,01	0,00	
38B	Sala	-0,03	0,12	0,02	0,04	0,03
	Quarto 1	-0,05	0,15	0,06	0,05	
	Quarto 2	-0,13	0,11	0,01	0,00	
39A	Sala	-0,04	0,11	0,02	0,04	0,02
	Quarto 1	-0,07	0,14	0,05	0,03	
	Quarto 2	-0,13	0,10	0,00	-0,01	
39B	Sala	-0,04	0,11	0,01	0,04	0,02
	Quarto 1	-0,07	0,14	0,05	0,03	
	Quarto 2	-0,13	0,10	0,00	-0,01	
39C	Sala	-0,04	0,11	0,01	0,04	0,02
	Quarto 1	-0,07	0,14	0,04	0,03	
	Quarto 2	-0,13	0,10	0,00	-0,01	

APÊNDICE C - Alterações realizadas no modelo de iluminação durante o processo de calibração pelo programa *Daysim*

- Caso Base** Modelo inicial para o processo de calibração.
- Caso 1** CB+Inserção do telhado de uma edificação do entorno localizada defronte à janela do Q2, refletância de 22%.
- Caso 2** C1+Elevou-se a UH para o nível real, 9 m acima do solo.
- Caso 3** **(alteração não adotada)** C2+Alteração das propriedades dos materiais internos com pequena variação.
- Caso 4** C2+Alterados alguns parâmetros de simulação¹⁸. Para os demais se manteve os valores *defaults* até então adotados.
- Caso 5** C4 + Modelagem das esquadrias de alumínio das janelas com refletância de 60%, conforme indicado por Lambert et al. (2005, p.85).
- Caso 6** C5+Redução da refletância dos peitoris de 89% para 27%, que até então possuíam a mesma refletância da pintura das paredes do ambiente (89%).
- Caso 7** C6+Redução da transmitância do vidro das janelas de 85% para 70%.
- Caso 8** **(alteração não adotada)** C7+Aumento da transmitância do vidro para 75%.
- Caso 9** **(alteração não adotada)** C7+Diminuição das refletâncias internas, adotando os valores encontrados nas medições.
- Caso 10** C7+Aumento da refletância do peitoril da sala de 27% para 95%, o mesmo valor da refletância dos azulejos das paredes da cozinha e do banheiro. Os demais continuaram com 27%.
- Caso 11** C10+Aumento da transmitância do vidro da janela da sala de 70% para 85% (igual CB). Os demais foram mantidos com 70%.
- Caso 12** **(alteração não adotada)** C11+Transmitância do vidro da janela da cozinha de 85%.Peitoril da cozinha com refletância de 95%, que é a mesma refletância das paredes com azulejos da cozinha e do banheiro. Alteração das refletâncias dos móveis e portas para 35%, do armário do Q1 para 65%, do armário do Q2 para 20% e a cama do Q1 para 55%.
- Caso 13** C11+Aumento da transmitância do vidro da janela da cozinha de 70% para 85% (igual CB). Aumento da refletância do peitoril da cozinha de 27% para 95%. Redução da refletância das superfícies dos Q1 e Q2: parede de 89% para 75%, pisos de 70% para 60% e teto de 95% para 85%.
- Caso 14** **(alteração não adotada)** C13+Novas refletâncias para o Q1 e Q2: o piso com 65% e a parede com 80%. Para a cama Q1, retornou-se para a refletância de inicial, de 41%. Cortina da sala com refletância de 70%.
- Caso 15** C13+Aumento das refletâncias dos pisos da sala e da cozinha de 70% para 80%.
- Caso 16** C15+Aumento da refletância da parede da sala de 89% para 92%. Redução da refletância do piso do Q1 e Q2 de 60% para 55%. Aumento da refletância do piso da sala e da cozinha de 80% para 85%. Redução da refletância do teto do Q1 e do Q2 de 85% para 80%.
- Caso 17** **(alteração não adotada)** C16+ Transmitância do vidro da janela da sala e cozinha com 90% e refletância das esquadrias de 75%.
- Caso 18** **(alteração não adotada)** C16+Transmitância do vidro da sala e da cozinha de

¹⁸ Conforme indicações para casos de menor complexidade (sem brises) de Reinhart (2006), assim, os valores adotados para os seguintes parâmetros de simulação foram: saltos no ambiente (*ambiente bounces*) = 5, divisão de ambiente (*ambient division*) = 1000, amostragem do ambiente (*ambient sampling*) = 20, precisão do ambiente (*ambient accuracy*) = 0,1, resolução do ambiente (*ambient resolution*) = 300, limiar direto (*direct threshold*) = 0 e amostragem direta (*direct sampling*) = 0 (REINHART, 2006, p.25).

90%

- Caso 19** (alteração não adotada) C18 dentro da caixa de vidro com o edifício todo modelado. Refletância das paredes externas e do telhado do edifício de 89%. Refletância de todos os peitoris de 27%.
- Caso 20** (alteração não adotada) C19 com o edifício todo modelado fora da caixa de vidro. Refletâncias das paredes externas e telhado igual ao da sala. Refletância de todos os peitoris de 27%.
- Caso 21** (alteração não adotada) C19+Somente o apartamento elevado no nível real (9m), sem o edifício todo modelado. Refletância de todos os peitoris de 27%.
- Caso 22** Modelagem das superfícies externas do edifício completo, sendo as refletâncias das paredes externas do edifício de 95% e o seu telhado de 22%. Redução da refletância do peitoril da sala e da cozinha de 95% para 40%.

APÊNDICE D - Vies médio (viesM) para comparar os dados simulados (S) e os dados medidos (M) e, o erro quadrático médio (EQM) para todos os casos simulados na calibração do modelo de iluminação, para avaliação por ambiente (Amb) e por unidade habitacional (UH)

Caso	Ambientes	EQM		viesM	Diagnóstico
		Amb.	UH		
CB	Sala	51,46	63,83	-33,53	S < M
	Quarto 1	58,88		16,48	S > M
	Quarto 2	81,15		34,8	S > M
1	Sala	51,18	62,23	-33,82	S < M
	Quarto 1	59,51		16,91	S > M
	Quarto 2	76,01		29,44	S > M
2	Sala	51,36	61,55	-33,16	S < M
	Quarto 1	57,69		14,84	S > M
	Quarto 2	75,61		28,88	S > M
3 (não usado)	Sala	50,58	62,32	-32,18	S < M
	Quarto 1	59,08		16,53	S > M
	Quarto 2	77,30		31,12	S > M
4	Sala	63,47	110,26	8,62	S > M
	Quarto 1	127,28		85,69	S > M
	Quarto 2	140,04		93,00	S > M
5	Sala	51,55	75,70	-15,98	S < M
	Quarto 1	82,17		41,26	S > M
	Quarto 2	93,38		48,05	S > M
6	Sala	50,83	74,8	-17,61	S < M
	Quarto 1	80,17		38,92	S > M
	Quarto 2	93,41		48,38	S > M
7	Sala	51,21	57,76	-34,28	S < M
	Quarto 1	57,36		12,27	S > M
	Quarto 2	64,72		16,4	S > M
8 (não usado)	Sala	50,28	63,40	-28,70	S < M
	Quarto 1	65,89		22,86	S > M
	Quarto 2	74,03		27,77	S > M
9 (não usado)	Sala	51,16	59,10	-34,11	S < M
	Quarto 1	57,01		11,38	S > M
	Quarto 2	69,12		21,97	S > M
10	Sala	50,49	60,24	-29,12	S < M
	Quarto 1	60,85		16,57	S > M
	Quarto 2	69,37		21,94	S > M
11	Sala	51,43	58,55	-19,94	S < M
	Quarto 1	58,61		14,31	S > M
	Quarto 2	65,59		17,44	S > M
12 (não usado)	Sala	51,30	60,96	-16,44	S < M
	Quarto 1	61,86		18,32	S > M
	Quarto 2	69,73		22,85	S > M
13	Sala	51,69	48,24	-35,41	S < M
	Quarto 1	43,8		-11,77	S < M
	Quarto 2	49,22		-8,8	S < M

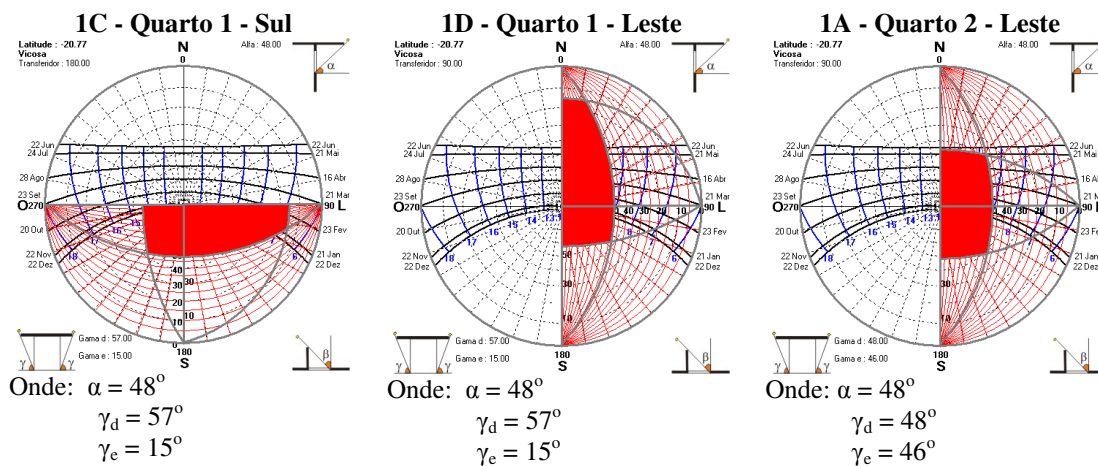
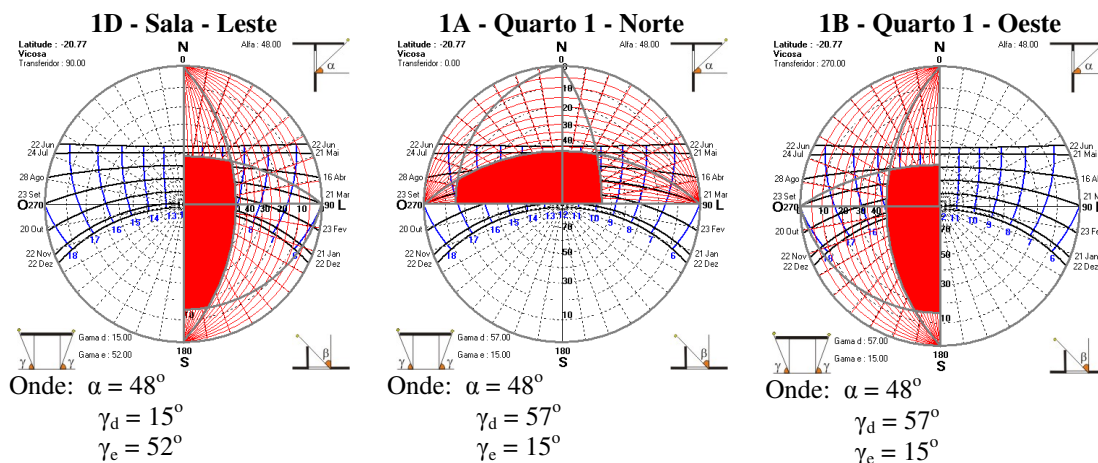
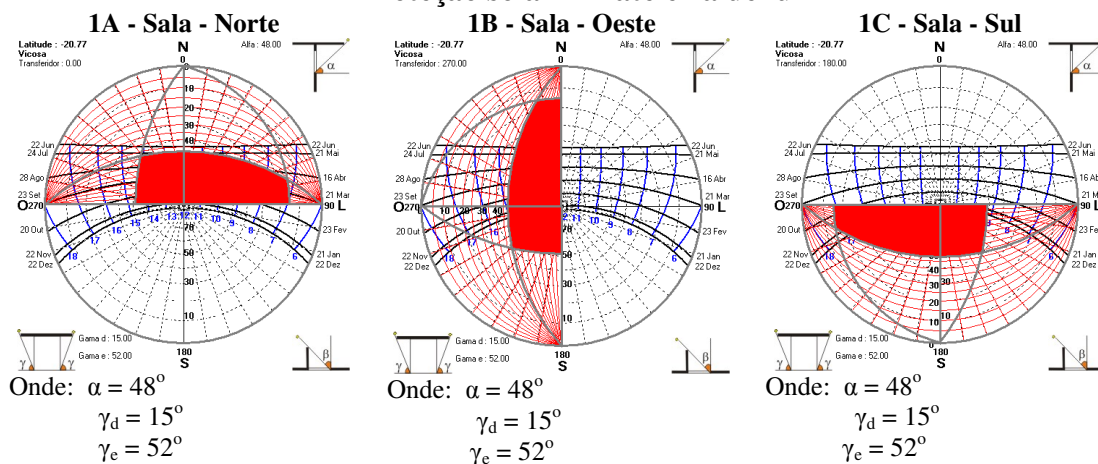
Continua...

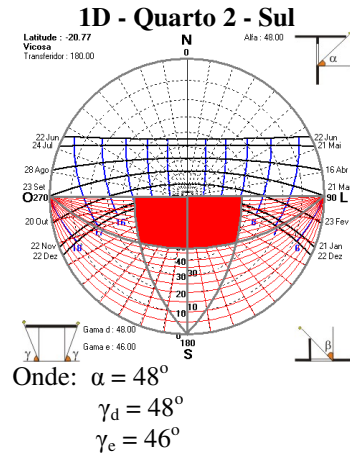
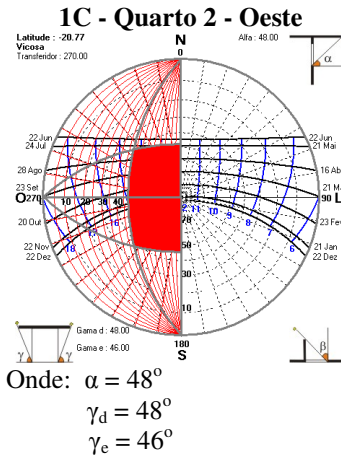
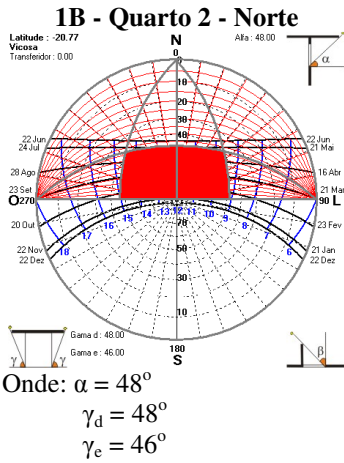
Continuação

Caso	Ambientes	EQM		viesM	Diagnóstico
		Amb.	UH		
14 (não usado)	Sala	51,61	48,41	-35,06	S < M
	Quarto 1	44,21		-11,86	S < M
	Quarto 2	49,43		-8,48	S < M
15	Sala	51,49	48,27	-34,26	S < M
	Quarto 1	43,95		-12,22	S < M
	Quarto 2	49,37		-8,69	S < M
16	Sala	51,17	47,86	-33,15	S < M
	Quarto 1	43,59		-13,86	S < M
	Quarto 2	48,82		-10,06	S < M
17 (não usado)	Sala	50,61	49,19	-29,73	S < M
	Quarto 1	45,16		-7,73	S < M
	Quarto 2	51,80		-2,53	S < M
18 (não usado)	Sala	50,73	47,71	-30,30	S < M
	Quarto 1	43,79		-11,68	S < M
	Quarto 2	48,61		-10,93	S < M
19 (não usado)	Sala	50,09	58,68	-32,09	S < M
	Quarto 1	60,32		16,13	S > M
	Quarto 2	65,63		17,85	S > M
20 (não usado)	Sala	51,42	54,27	-35,65	S < M
	Quarto 1	51,98		6,48	S > M
	Quarto 2	59,41		9,69	S > M
21 (não usado)	Sala	54,07	55,30	-41,76	S < M
	Quarto 1	52,01		6,65	S > M
	Quarto 2	59,81		10,71	S > M
22	Sala	51,46	48,04	-35,17	S < M
	Quarto 1	43,75		-12,69	S < M
	Quarto 2	48,93		-10,75	S < M

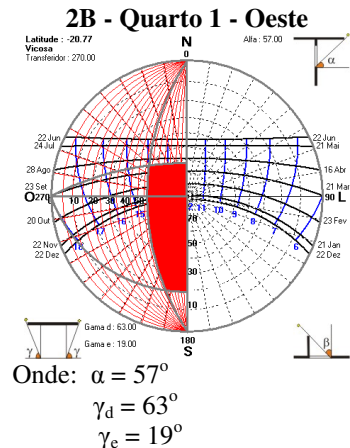
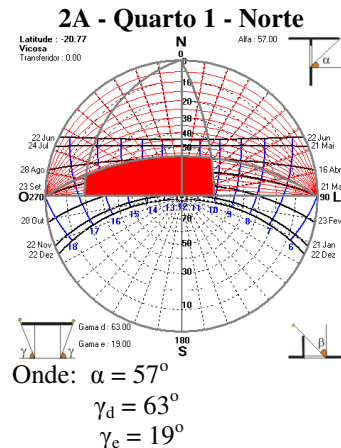
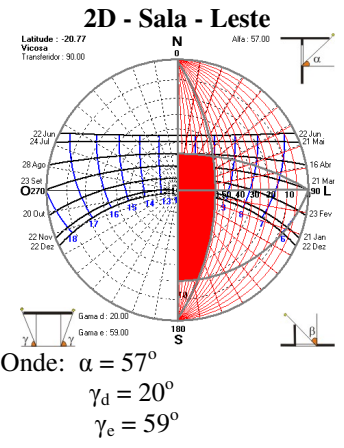
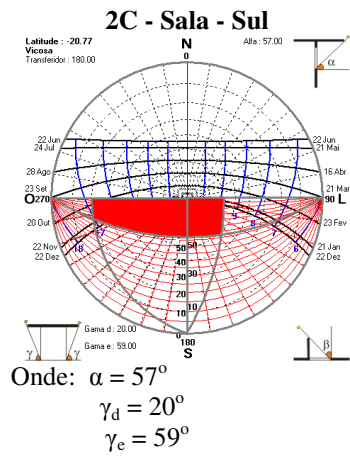
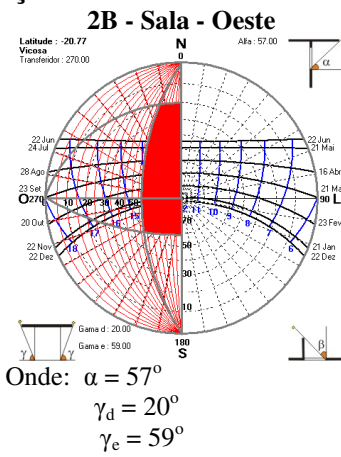
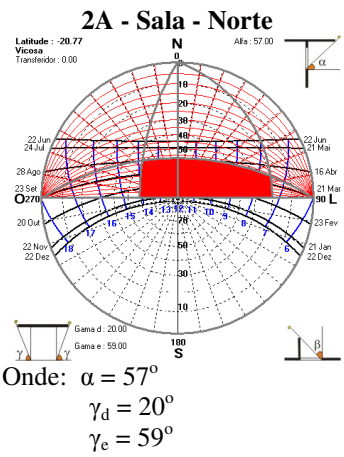
APÊNDICE E - Máscaras de sombra das proteções solares propostas para as alternativas de simulação, conforme Quadro 3.2

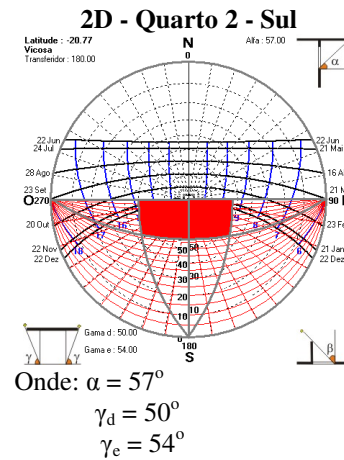
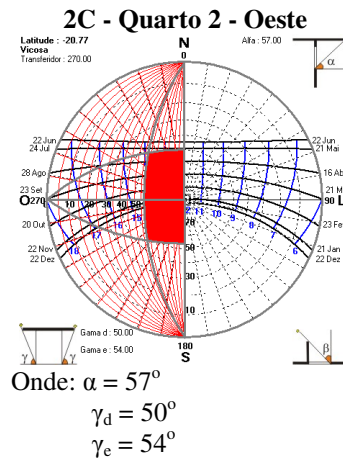
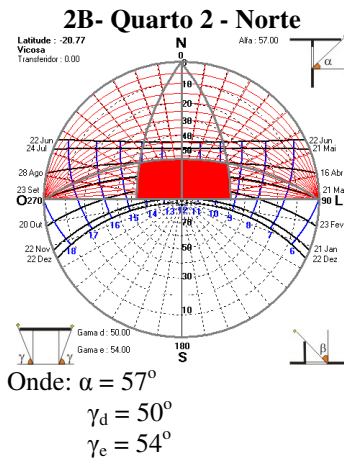
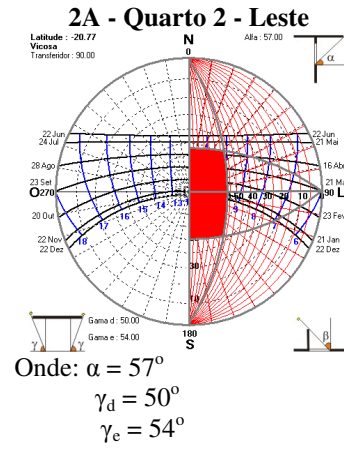
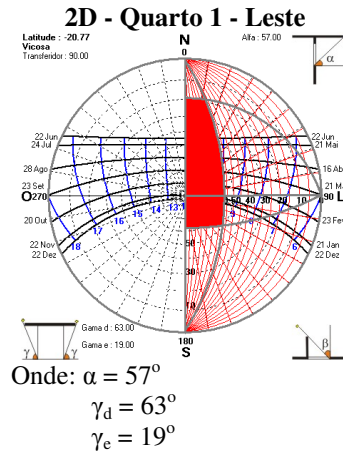
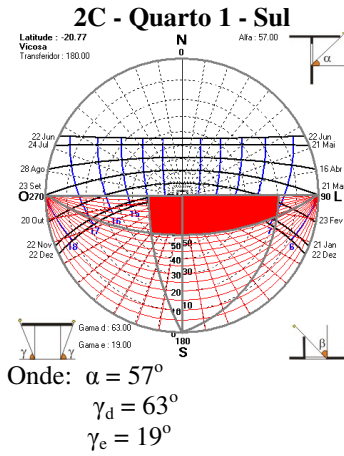
1 - Proteção solar - Prateleira de luz



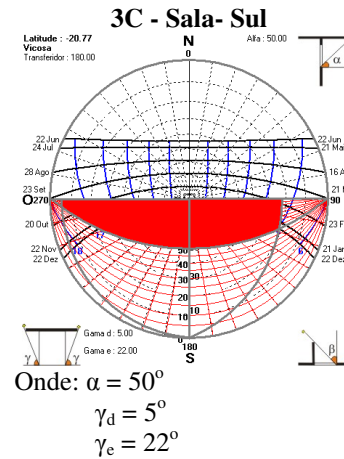
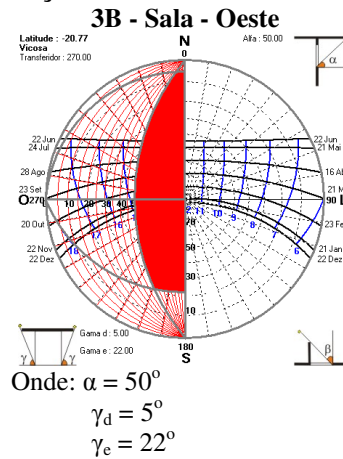
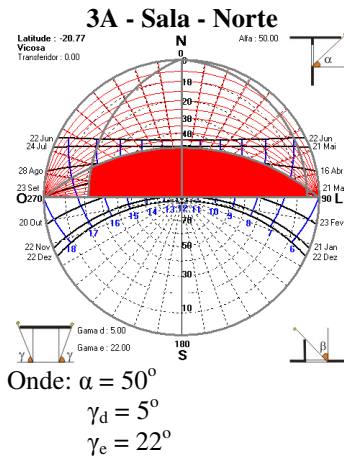


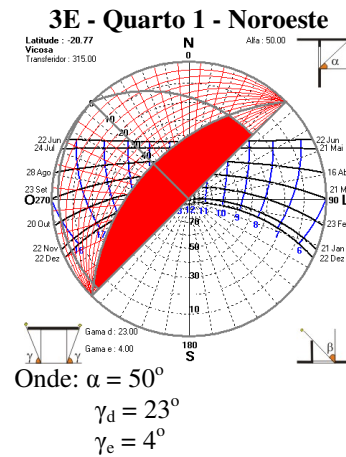
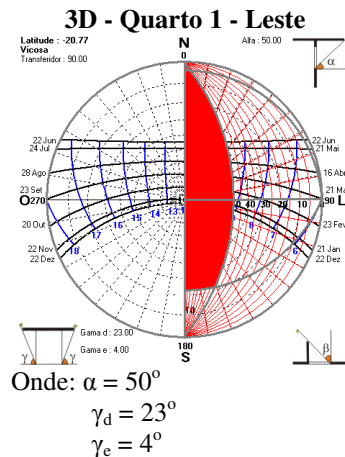
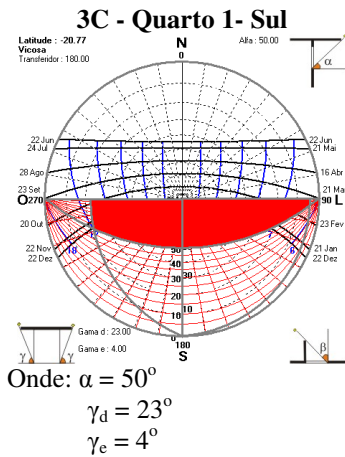
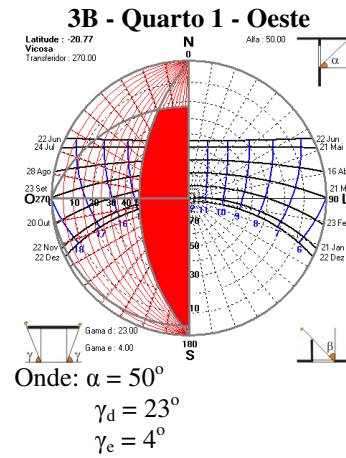
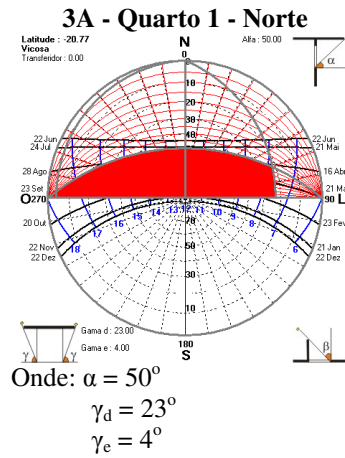
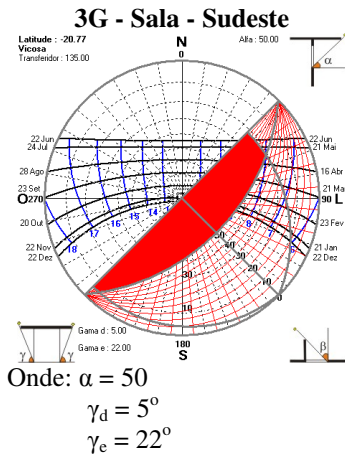
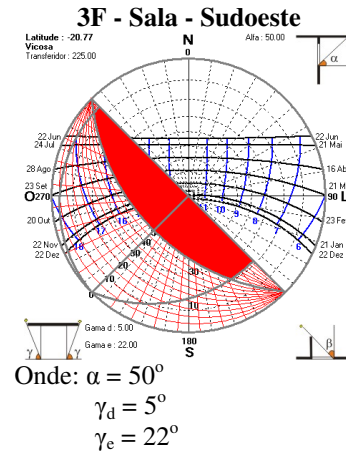
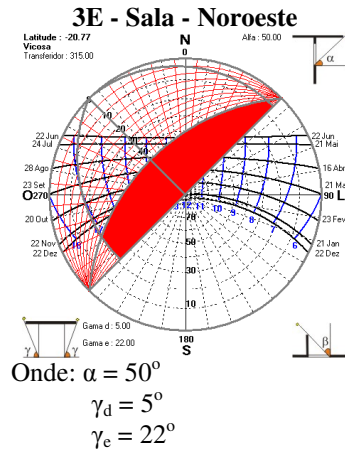
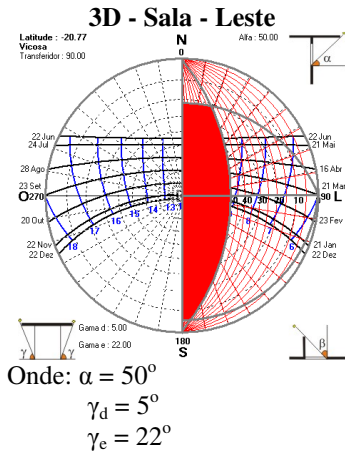
2 - Proteção solar - Horizontal única aleta

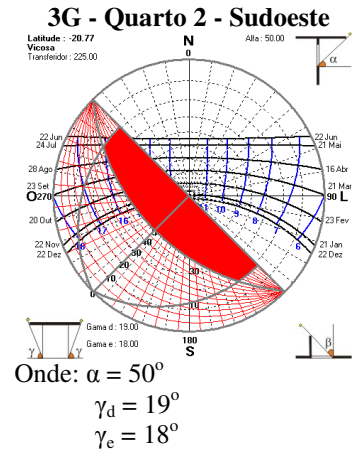
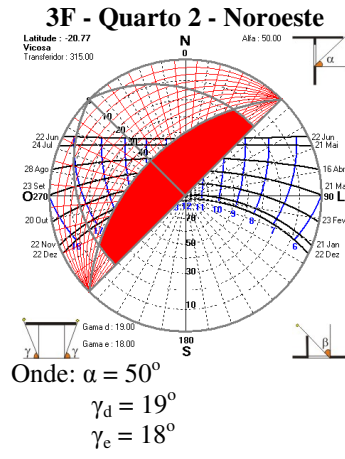
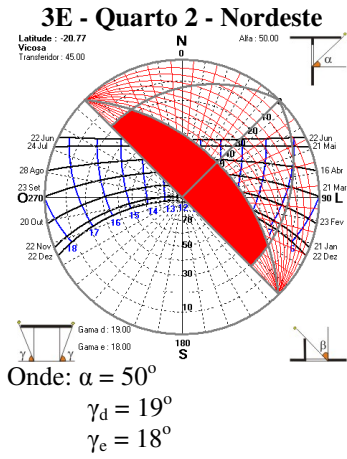
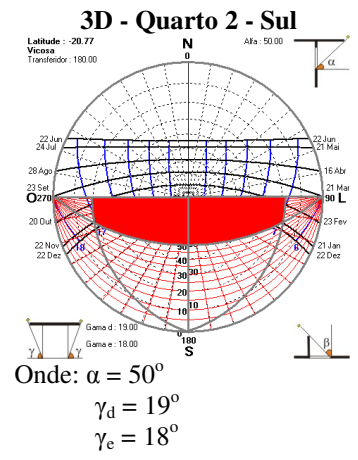
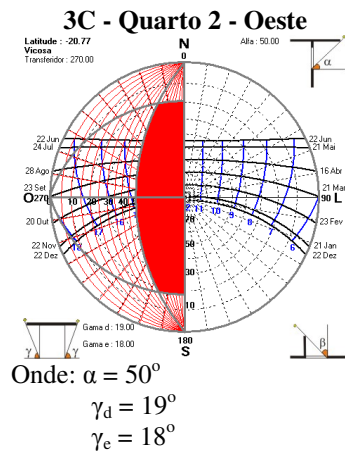
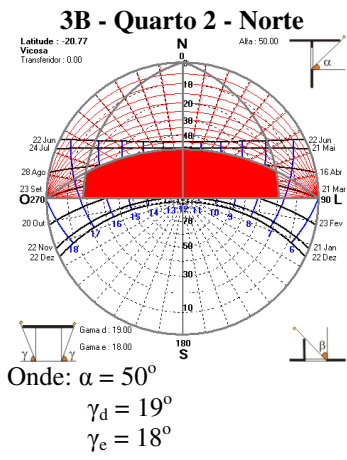
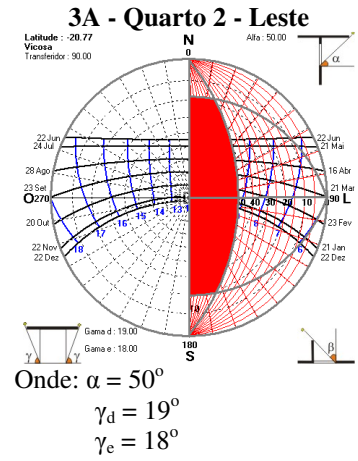
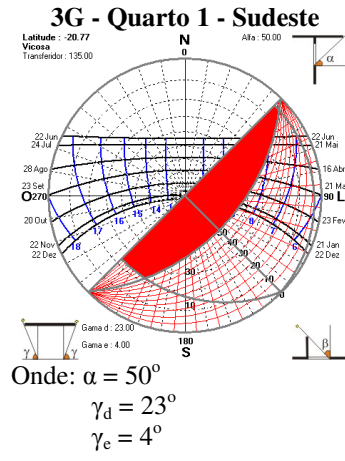
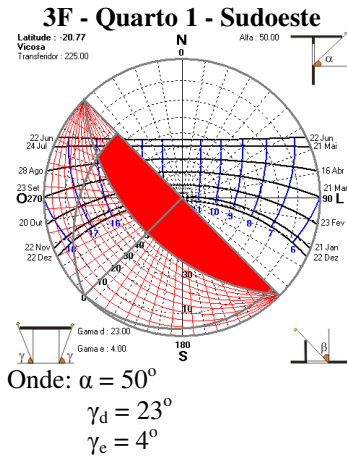




3 - Proteção solar - Horizontal filetado

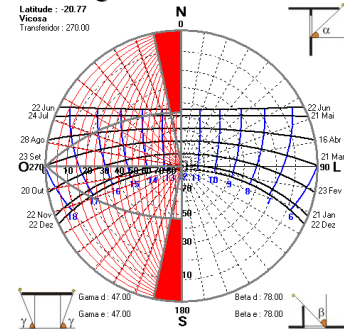






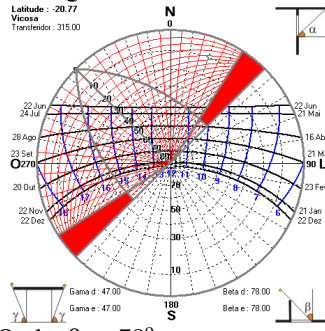
4 - Proteção solar - Vertical com duas aletas

**4A - Sala, Quarto 1 e 4C -
Quarto 2 - Oeste**



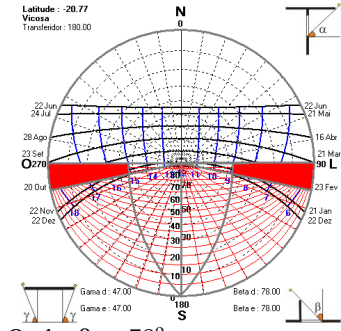
Onde: $\beta_d = 78^\circ$
 $\beta_e = 78^\circ$
 $\gamma_d = 47^\circ$
 $\gamma_e = 47^\circ$

**4B - Sala, Quarto 1 e 4D -
Quarto 2 - Noroeste**



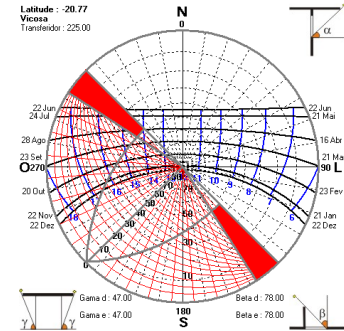
Onde: $\beta_d = 78^\circ$
 $\beta_e = 78^\circ$
 $\gamma_d = 47^\circ$
 $\gamma_e = 47^\circ$

4C - Sala e Quarto 1 - Sul



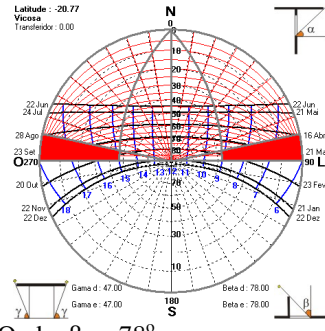
Onde: $\beta_d = 78^\circ$
 $\beta_e = 78^\circ$
 $\gamma_d = 47^\circ$
 $\gamma_e = 47^\circ$

**4D - Sala e Quarto 1 -
Sudoeste**



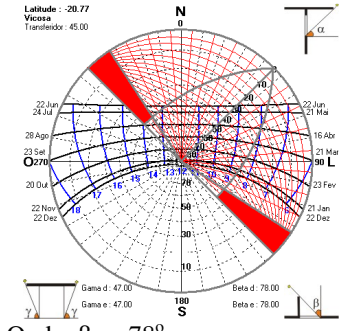
Onde: $\beta_d = 78^\circ$
 $\beta_e = 78^\circ$
 $\gamma_d = 47^\circ$
 $\gamma_e = 47^\circ$

4A - Quarto 2 - Norte



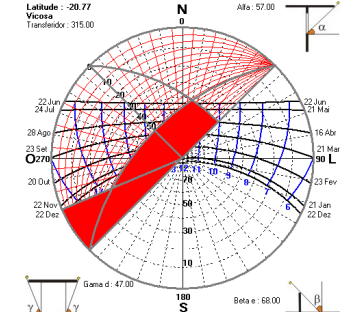
Onde: $\beta_d = 78^\circ$
 $\beta_e = 78^\circ$
 $\gamma_d = 47^\circ$
 $\gamma_e = 47^\circ$

4B - Quarto 2 - Nordeste



Onde: $\beta_d = 78^\circ$
 $\beta_e = 78^\circ$
 $\gamma_d = 47^\circ$
 $\gamma_e = 47^\circ$

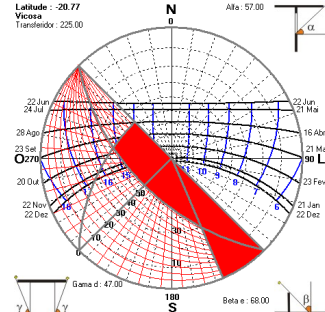
5A - Sala - Noroeste



Onde: $\alpha = 57^\circ$
 $\beta_e = 68^\circ$
 $\gamma_d = 47^\circ$

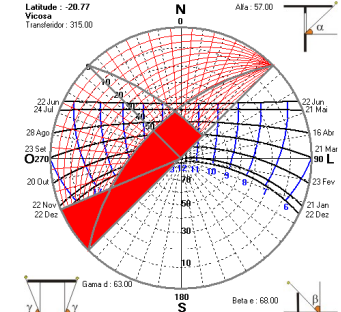
5 - Proteção solar - Em L

5B - Sala - Sudoeste

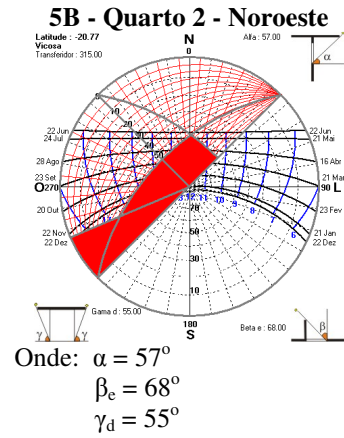
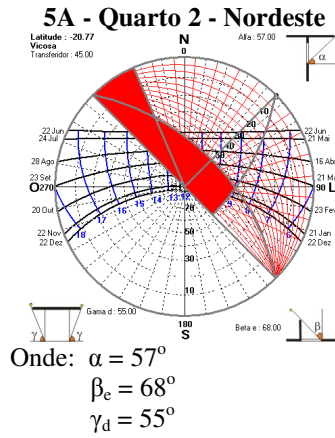
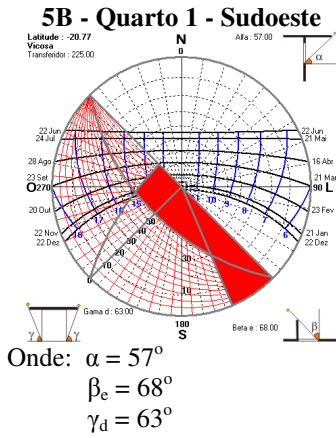


Onde: $\alpha = 57^\circ$
 $\beta_e = 68^\circ$
 $\gamma_d = 47^\circ$

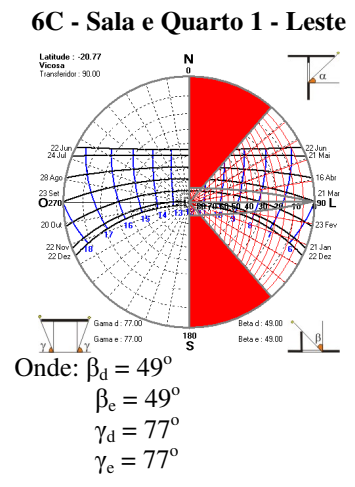
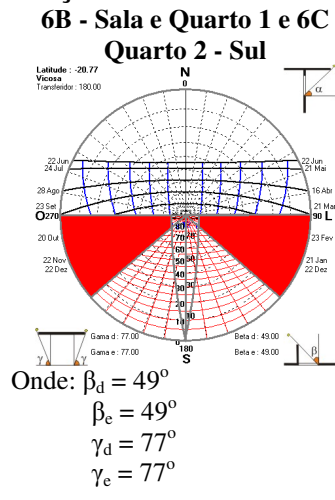
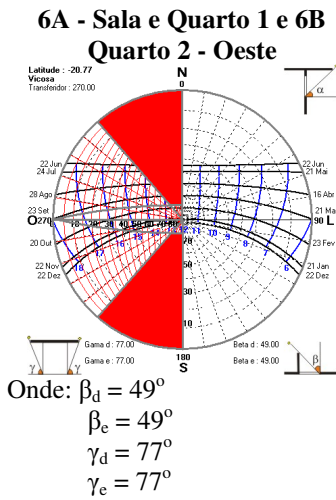
5A - Quarto 1 - Noroeste



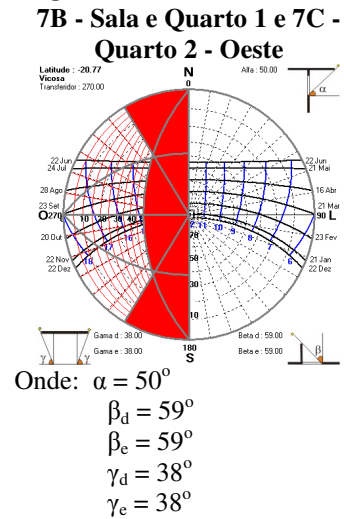
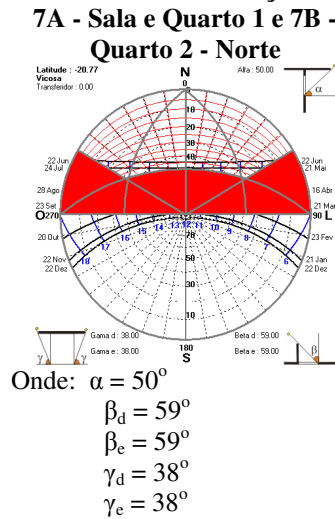
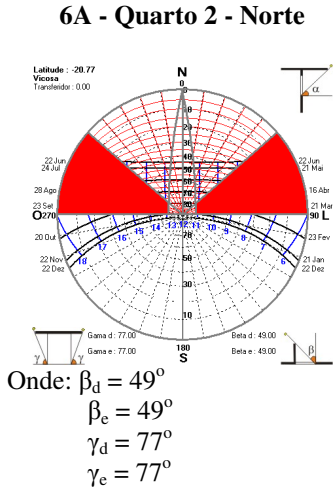
Onde: $\alpha = 57^\circ$
 $\beta_e = 68^\circ$
 $\gamma_d = 63^\circ$



6 - Proteção solar - Vertical filetado



7 - Proteção solar - Quadriculado

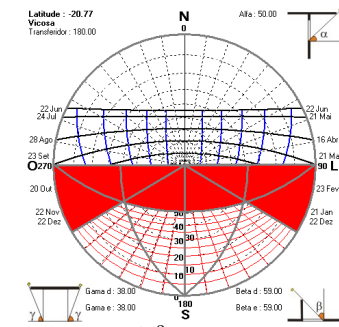


8 - Proteção solar - Horizontal filetado inclinado

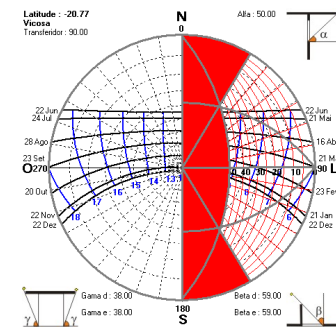
8A - Sala - Norte

7C - Sala e Quarto 1 - Sul

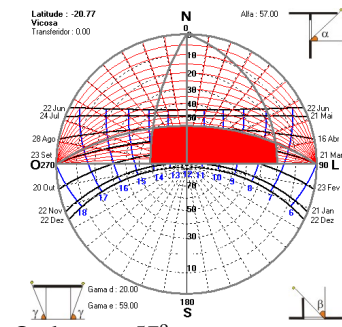
7A - Quarto 2 - Leste



Onde: $\alpha = 50^\circ$
 $\beta_d = 59^\circ$
 $\beta_e = 59^\circ$
 $\gamma_d = 38^\circ$
 $\gamma_e = 38^\circ$



Onde: $\alpha = 50^\circ$
 $\beta_d = 59^\circ$
 $\beta_e = 59^\circ$
 $\gamma_d = 38^\circ$
 $\gamma_e = 38^\circ$

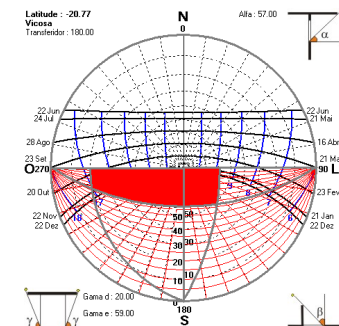


Onde: $\alpha = 57^\circ$
 $\gamma_d = 20^\circ$
 $\gamma_e = 59^\circ$

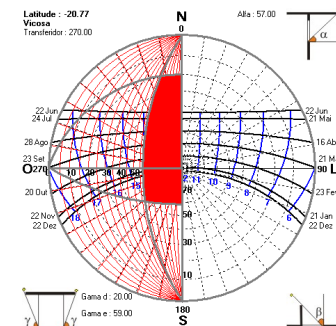
8B - Sala - Sul

8C - Sala - Oeste

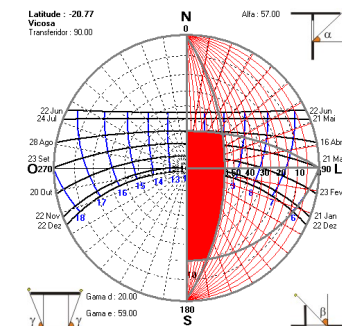
8D - Sala - Leste



Onde: $\alpha = 57^\circ$
 $\gamma_d = 20^\circ$
 $\gamma_e = 59^\circ$



Onde: $\alpha = 57^\circ$
 $\gamma_d = 20^\circ$
 $\gamma_e = 59^\circ$

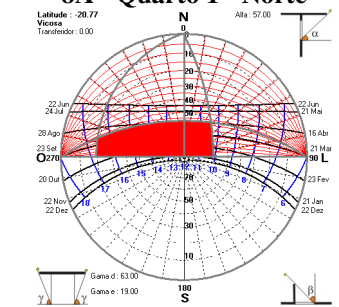


Onde: $\alpha = 57^\circ$
 $\gamma_d = 20^\circ$
 $\gamma_e = 59^\circ$

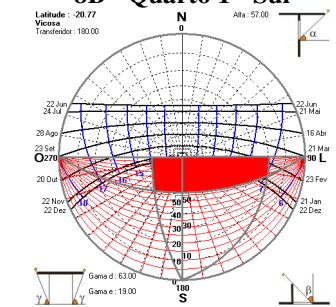
8A - Quarto 1 - Norte

8B - Quarto 1 - Sul

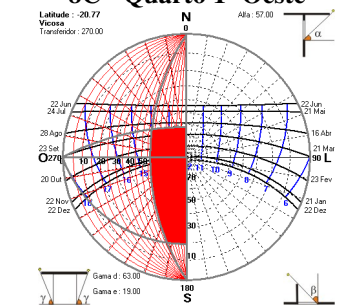
8C - Quarto 1 - Oeste



Onde: $\alpha = 57^\circ$
 $\gamma_d = 63^\circ$
 $\gamma_e = 19^\circ$



Onde: $\alpha = 57^\circ$
 $\gamma_d = 63^\circ$
 $\gamma_e = 19^\circ$



Onde: $\alpha = 57^\circ$
 $\gamma_d = 63^\circ$
 $\gamma_e = 19^\circ$

