

**FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
MESTRADO PROFISSIONAL EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE**

**AVALIAÇÃO DOS REQUISITOS NORMATIVOS DE SISTEMAS DE
ABERTURAS PARA O DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO DE HIS**

FERNANDO HENRIQUE FIIRST DOS SANTOS PORTO

Trabalho de Conclusão Final de Curso do Mestrado Profissional apresentada na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, para obtenção do título de Mestre em Eficiência Energética e Sustentabilidade, na área de concentração Eficiência Energética.

Orientador: Prof. Dr. Wagner Augusto Andreasi

CAMPO GRANDE

SET / 2016

FOLHA DE APROVAÇÃO

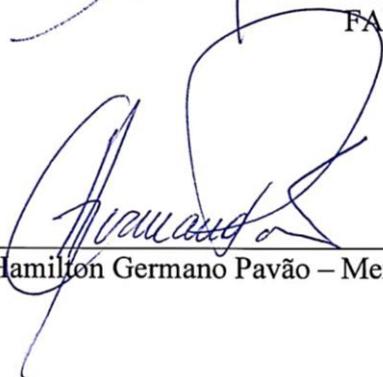
Redação final do Trabalho de Conclusão Final de Curso defendida por **AVALIAÇÃO DOS REQUISITOS NORMATIVOS DE SISTEMAS DE ABERTURAS PARA O DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO DE HIS**, aprovada pela Comissão Julgadora em 06 de setembro de 2016, na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul para obtenção do título de Mestre em Eficiência Energética e Sustentabilidade.



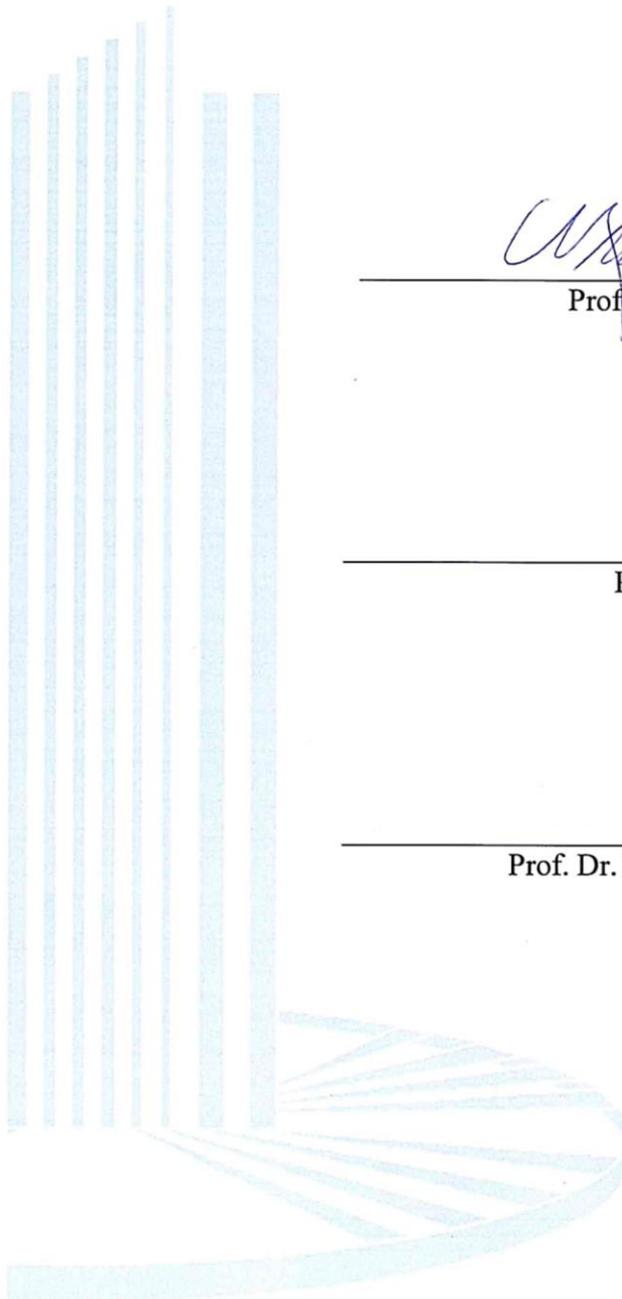
Prof. Dr. Wagner Augusto Andreasi – Orientador
FAENG/UFMS



Prof. Dr. Ana Paula Milani – Membro Titular
FAENG/UFMS



Prof. Dr. Hamilton Germano Pavão – Membro Titular
INFI/UFMS



AGRADECIMENTOS

A Deus, que preparou essa oportunidade e me ajudou a atravessá-la.

À minha família, pelo amor que nunca faltou e nunca faltará, oferecendo apoio incondicional às minhas escolhas.

Ao meu orientador, prof. Wagner Augusto Andreasi, por sempre ter depositado em mim confiança e ter me ensinado a crescer como pesquisador e como pessoa.

Aos meus amigos que, em momentos difíceis, me mostraram que era possível prosseguir; em especial a Adriano Levi Carnevali, que (ainda não sei como) consegue desempenhar função de pai, irmão e amigo — e não somente nesse processo.

Aos colegas do LADE e do MPEES, pelos bons anos de convivência e por terem acreditado em mim mesmo quando eu não achava possível.

Enfim, a todos que me ajudaram a finalizar não somente esse trabalho, mas um pedaço da minha vida, mesmo que indiretamente.

EPÍGRAFE

“Aqueles que se sentem satisfeitos sentam-se e nada fazem. Os insatisfeitos são os únicos benfeitores do mundo”

(Walter S. Landor)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivos.....	16
1.1.1	OBJETIVO GERAL.....	16
1.1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1	ABNT NBR 15220:2005 – Desempenho térmico de edificações	20
2.1.1	O ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO BRASILEIRO	21
2.2	ABNT NBR 15575:2013 – Desempenho de edificações	23
2.3	Regulamentação residencial brasileira para eficiência energética – RTQ-R	24
2.4	Impacto dos sistemas de aberturas no desempenho termoenergético residencial	28
2.4.1	FECHAMENTOS TRANSPARENTES	28
2.4.2	VENTILAÇÃO NATURAL	29
2.4.3	ILUMINAÇÃO NATURAL	32
2.4.4	SISTEMA DE SOMBREAMENTO DE ABERTURAS	33
2.4.5	APLICAÇÃO DE ESTRATÉGIAS INTEGRADAS.....	34
3	METODOLOGIA	36
3.1	Objeto de estudo	36
3.2	Análise dos requisitos normativos de sistemas de aberturas	39
3.2.1	VENTILAÇÃO NATURAL	39
3.2.2	ILUMINAÇÃO NATURAL	41
3.2.3	SOMBREAMENTO DE ABERTURAS.....	42
3.3	Avaliação da eficiência energética da envoltória conforme RTQ-R.....	43
3.4	Estudos para a melhoria da eficiência energética das HIS	44
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
4.1	Análise dos requisitos normativos	46

4.1.1	VENTILAÇÃO NATURAL.....	46
4.1.2	ILUMINAÇÃO NATURAL.....	49
4.1.3	SISTEMA DE SOMBREAMENTO DE ABERTURAS.....	50
4.1.4	DISCUSSÃO DAS METODOLOGIAS NORMATIVAS ANALISADAS.....	51
4.2	Avaliação da eficiência energética da envoltória conforme RTQ-R	53
4.3	Estudos para a melhoria da eficiência energética das HIS.....	59
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
	REFERÊNCIAS.....	67

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Sistema de abertura	20
Figura 2.2 – Zoneamento Bioclimático do Brasil segundo a ABNT NBR 15220-3:2005	22
Figura 2.3 – Etiqueta de edificação construída para UH.....	24
Figura 3.1 – Planta do projeto do PMCMV 2 sub 50	36
Figura 3.2 – Fachada frontal do projeto do PMCMV 2 sub 50.....	37
Figura 3.3 – Zoneamento Bioclimático do estado de MS	37
Figura 3.4 – Registros fotográficos das HIS do “PMCMV 2 sub 50” em Ladário (a) e Ribas do Rio Pardo (b)	38
Figura 3.5 – Janelas do projeto do PMCMV 2 sub 50	38
Figura 4.1 – EqNumEnvAmb _{Resf} (Envoltória para Verão), sem a inclusão dos pré-requisitos, conforme orientação e ZB da edificação	56
Figura 4.2 – EqNumEnvAmb _A (Envoltória para Inverno), sem a inclusão dos pré-requisitos, conforme a orientação (ZB 3).....	57
Figura 4.3 – EqNumEnvAmb _{Refrig} (Envoltória caso condicionada artificialmente), sem a inclusão dos pré-requisitos, conforme a orientação e a ZB da edificação.....	57
Figura 4.4 – EqNumEnv sem pré-requisitos: comparação entre o resultado apresentado na Tabela 4.13 e adaptando as características térmicas das paredes e coberturas.....	60
Figura 4.5 – EqNumEnvAmb _{Resf} (Envoltória para Verão) da sala/cozinha, para todas as orientações e cada ZB, variando a variável “somb”	61
Figura 4.6 – EqNumEnv para todas as orientações e cada ZB, variando as janelas para tipo camarão (estudo 3).....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Metodologia de cálculo da eficiência de cada ambiente de UH	25
Tabela 2.2 – Comparação entre os requisitos normativos de percentual de áreas de abertura para ventilação	31
Tabela 3.1 – Equações utilizadas para cálculo da eficiência energética da envoltória, segundo o RTQ-R.....	43
Tabela 3.2 – Níveis de eficiência conforme equivalentes numéricos	44
Tabela 4.1 – Área de abertura passível para ventilação, conforme o projeto	46
Tabela 4.2 – Área de abertura para ventilação em relação à área do ambiente (%)	47
Tabela 4.3 – Cálculo da porosidade de cada fachada da edificação	48
Tabela 4.4 – Área de abertura para iluminação – bruta e em percentual pela área do ambiente	49
Tabela 4.5 – Profundidade dos ambientes – de projeto e máxima permitida para bonificação	50
Tabela 4.6 – Variável “somb” por ambiente, conforme RTQ-R	51
Tabela 4.7 – Áreas de fachadas e de aberturas	53
Tabela 4.8 – Variáveis independentes da orientação – parte 1	54
Tabela 4.9 – Propriedades térmicas dos materiais da envoltória	55
Tabela 4.10 – Variáveis independentes da orientação – parte 2	55
Tabela 4.11 – Pré-requisitos do RTQ-R para paredes e cobertura.....	56
Tabela 4.12 – Pré-requisito relativo às características térmicas da envoltória	56
Tabela 4.13 – Equivalentes numéricos finais da envoltória, com indicação do nível por cor .	58
Tabela 4.14 – Variáveis modificadas para o terceiro estudo	62

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AAbo	Área de Aberturas voltadas para Oeste
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AGEHAB	Agência Estadual de Habitação Popular de Mato Grosso do Sul
APP	Ambiente de Permanência Prolongada
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
AUC	Áreas de Uso Comum
AUE	Áreas Comuns de Uso Eventual
AUF	Áreas Comuns de Uso Frequente
C _A	Consumo Relativo para Aquecimento
C _R	Consumo Relativo para Refrigeração
CT	Capacidade Térmica
CT _{cob}	Capacidade Térmica da cobertura
CT _{par}	Capacidade Térmica das paredes
EM	Edificação Multifamiliar
EqNumAA	Equivalente Numérico do Aquecimento de Água
EqNumEnv	Equivalente Numérico da Envoltória
...A	para Aquecimento
...Refrig	para Refrigeração
...Resf	para Resfriamento
...Amb _A	do Ambiente para Aquecimento
...Amb _{Refrig}	do Ambiente para Refrigeração
...Amb _{Resf}	do Ambiente para Resfriamento
EU	Edificação Unifamiliar
F _{vent}	Fator de ventilação
GH _R	Graus Hora para Resfriamento
HIS	Habitação de Interesse Social
ICC	International Code Council
IN	Instrução Normativa
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
L	Orientação Leste

LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
MME	Ministério de Minas e Energia
MPOG	Ministério de Planejamento, Orçamento e Gestão
MS	Mato Grosso do Sul
N	Orientação Norte
NBR	Norma Brasileira
NR	Norma Regulamentadora
O	Orientação Oeste
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PMCMV	Programa Minha Casa Minha Vida
PNEf	Plano Nacional de Eficiência Energética
PR	Paraná
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PT	Pontuação Total
PVC	Policloreto de Vinila
RAC	Requisitos de Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética de Edificações
RTQ-R	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência de Edificações Residenciais
S	Orientação Sul
Somb	Variável referente ao sombreamento das aberturas
SVVIE	Sistemas de Vedações Verticais Internas e Externas
U	Transmitância Térmica
U_{cob}	Transmitância Térmica da cobertura
U_{par}	Transmitância Térmica das paredes
UH	Unidade Habitacional Autônoma
USGBC	United States Green Building Council
ZB	Zona Bioclimática

LISTA DE SÍMBOLOS

α	Absortância solar de superfícies
%	Porcentagem
°C	Unidade de medida de temperatura em grau Celcius
A_1	Somatório das áreas efetivas de aberturas para ventilação localizadas nas fachadas da orientação com maior área de abertura para ventilação
A_2	Somatório das áreas efetivas de aberturas para ventilação localizadas nas fachadas das demais orientações
h_a	Distância medida entre o piso e a altura máxima da abertura para iluminação, excluindo caixilhos
K	Unidade de temperatura termodinâmica em kelvin
kg	Unidade de massa em quilograma
kJ	Unidade de energia em quilojoule
m	Unidade de medida de comprimento em metro
m^2	Unidade de medida de área em metros quadrados
m^3	Unidade de medida de volume em metros cúbicos
P	Profundidade do ambiente
W	Unidade de potência em watt

RESUMO

PORTO, F. H. F. S. (2016). Avaliação dos requisitos normativos de sistemas de aberturas para o desempenho termoenergético de HIS. Campo Grande, 2016. 71 p. Trabalho de Conclusão Final de Curso (Mestrado Profissional) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil.

Apesar da necessidade de redução de consumo de energia das edificações, normalmente as políticas de eficiência energética não conseguem atingir o segmento de Habitações de Interesse Social (HIS), visto que estas são construídas com recursos reduzidos. Ainda, as normas e os regulamentos brasileiros de desempenho térmico não parecem concretos com relação aos requisitos referentes aos sistemas de aberturas — iluminação natural, ventilação natural e sombreamento —, pois suas exigências são atualmente distintas ou discordantes entre as diferentes normativas. Esse trabalho objetiva então avaliar a aplicabilidade desses requisitos normativos no desempenho termoenergético de HIS executadas nas diferentes Zonas Bioclimáticas (ZB) de Mato Grosso do Sul (MS), frente ao Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) e às normas ABNT NBR 15220:2005 e ABNT NBR 15575:2013. A pesquisa correlacionou o atendimento aos requisitos de sombreamento das aberturas, de iluminação e de ventilação natural aos níveis de eficiência energética da envoltória da HIS. O estudo identificou que as exigências das normativas são falhas por serem pontuais, não considerando todos os elementos de uma abertura simultaneamente; entretanto, os requisitos de áreas de ventilação e de iluminação do RTQ-R se mostraram justos quando aplicados ao objeto de estudo. Por fim, a avaliação da envoltória da HIS indicou níveis abaixo da média para a maior parte dos casos estudados, sendo que alterações visando atender aos pré-requisitos do RTQ-R resultaram em melhoria suficiente para que todos os casos alcançassem envoltória com nível C.

Palavras-chaves: normas de desempenho térmico de edificações, ventilação natural, iluminação natural, sombreamento de aberturas, RTQ-R.

ABSTRACT

Despite the need for energy consumption reduction in buildings, usually the energy efficiency policies fail to achieve the Social Interest Housing (HIS) segment, since these are built with reduced resources. In addition, the Brazilian standards and rules of thermal performance do not seem concrete concerning the requirements for windowing systems — natural lighting, natural ventilation and shading — because its requirements are currently different or conflicting among the various standards. This study aims to evaluate the applicability of these regulatory requirements in thermoenergetic performance of HIS built in the different Bioclimatic Zones (ZB) in the state of Mato Grosso do Sul (MS), according to Brazilian Energy Labeling Schemes for Residential Buildings (RTQ-R) and standards ABNT NBR 15220:2005 and ABNT NBR 15575:2013. The research correlated the compliance to requirements for windows shading, natural lighting and natural ventilation to energy efficiency levels of envelopment of the HIS. The study has identified that the standards requirements are defective because they are specific, not considering simultaneously all the windows factors; however, the ventilation opening size and lighting opening size requirements from RTQ-R appeared to be righteous when applied to the study object. Finally, the evaluation of the HIS envelope indicated levels below the average for most of the studied cases, and the changes in the windows, walls and roofs to comply with the RTQ-R prerequisites resulted in sufficient improvement for all cases achieve envelope level C.

Keywords: buildings thermal performance standards, natural ventilation, natural lighting, Windows shading, RTQ-R.

1 INTRODUÇÃO

O princípio da arquitetura vernacular era aproveitar as características desejáveis do clima enquanto se evitavam as indesejáveis. Todavia, com a revolução industrial e as grandes transformações técnicas, sociais e econômicas, o quadro das construções mudou para um “estilo internacional”, no qual cultura e clima deixaram de ser considerados na elaboração dos projetos. Dessa forma, sistemas de iluminação e de climatização artificial passaram a ser largamente utilizados, deixando-se de lado as estratégias passivas de conforto dos usuários (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014).

Por isso, atualmente um segmento que tem se tornado parte fundamental da política energética, tanto nacional como internacional, é a Eficiência Energética em Edificações: no Brasil, estima-se um potencial de 50% de redução do consumo de energia elétrica em edifícios novos (PROCEL, 2015). Para tanto, é necessário o retorno aos princípios da arquitetura vernacular, com o aproveitamento da luz e da ventilação natural na concepção dos projetos.

No âmbito residencial, várias regulamentações têm surgido visando à utilização dessas técnicas de condicionamento passivo para a melhoria da eficiência energética. Em 2003, foi publicada a ABNT NBR 15220 (atualizada em 2005), que trata do Desempenho Térmico de Edificações, contemplando cinco partes. A NBR 15220-3 divide o território brasileiro em oito Zonas Bioclimáticas (ZB) e apresenta diretrizes construtivas para Habitações de Interesse Social (HIS) para cada ZB, incluindo sombreamento de aberturas e área necessária para ventilação natural (ABNT, 2005).

Em 2010, foi publicada a primeira versão do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). Atualizado em 16 de janeiro de 2012, este regulamento especifica requisitos técnicos avaliados por um organismo de inspeção acreditado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) para a concessão da Etiqueta de Edificações do Programa Brasileiro de Etiquetagem (Etiqueta PBE Edifica). Esta indica um nível de eficiência energética, que varia numa escala decrescente de “A” a “E”, sendo determinado pela análise de dois sistemas: Envoltória e Aquecimento de Água. O primeiro pode ser avaliado por *softwares* de simulação termoenergética ou por equações de regressão linear múltipla (método prescritivo). Para ambos os casos, é necessário analisar pré-requisitos, sendo dois deles relacionados à ventilação e iluminação natural, que podem limitar o nível do sistema a “C”, se a edificação não atender aos critérios estabelecidos (BRASIL, 2012). Assim, as análises dos pré-requisitos se fazem tão

importantes quanto a aplicação do método de cálculo, pois têm influência direta no nível de eficiência da edificação.

De acordo com o Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf — MME, 2011), foi estabelecida a obrigatoriedade do PBE Edifica até 2020 para prédios públicos, até 2025 para edifícios comerciais e até 2030 para edificações residenciais. Entretanto, com a publicação da Instrução Normativa nº. 02 de 04 de Junho de 2014 do Ministério de Planejamento, Orçamento e Gestão (MPOG), a etiquetagem tornou-se compulsória para edifícios públicos federais a partir de 05 de agosto de 2014. Assim, a obrigatoriedade da aplicação do RTQ-R pode chegar também com antecedência, principalmente para HIS, por se tratar de edificações de responsabilidade pública.

Já a norma de Desempenho de Edificações, ABNT NBR 15575, passou a vigorar em 2013, cinco anos após sua primeira tentativa (2008), pela falta de condições da indústria e dos profissionais e, portanto, não foi considerada na elaboração do RTQ-R. Com relação ao desempenho térmico, o documento fornece metodologia para avaliação, por medição ou simulação, além de requisitos semelhantes ao do RTQ-R e da NBR 15220-3. Em sua quarta parte — Sistemas de Vedações Verticais Internas e Externas (SVVIE) —, a NBR 15575 possui, por exemplo, um requisito de áreas mínimas de abertura para promover a ventilação natural (ABNT, 2013).

Dentre as dificuldades encontradas para a aplicação destas regulamentações, estão essas exigências relacionadas a ventilação e iluminação natural, visto que, apesar de validadas por conceitos consolidados de conforto ambiental e eficiência energética, sua mensuração ainda é incerta (CARLO e LAMBERTS, 2010). Isso resulta na falta de motivação tanto para projetistas aplicarem esses conceitos, como para o mercado ofertar esquadrias que auxiliem na verificação desses requisitos. Nessa pesquisa, será tratado como sistema de abertura o conjunto de janela e seus dispositivos de sombreamento.

Outro ponto em discussão é a divergência entre os valores requeridos nas normas para o atendimento aos requisitos relacionados a aberturas, ou mesmo entre as metodologias de avaliação destes: no caso de ventilação natural, o RTQ-R exige valores próximos aos da NBR 15575-4, enquanto a NBR 15220-3 receita valores muito mais elevados; com relação à iluminação natural, apenas a NBR 15575-1 e o regulamento residencial possuem requisitos, mas com metodologias distintas; e, por fim, a maneira como é tratado o sombreamento de janelas é diferente na NBR 15220-3 e no RTQ-R, e nem é utilizado na NBR 15575.

Dado o crescimento de programas de incentivo à moradia própria por parte do governo, a produção de HIS tem aumentado significativamente (PAULO et al., 2012), e os projetos

precisam se adequar aos requisitos da NBR 15575, que já é obrigatória, e ao RTQ-R, que deverá ser compulsório também num futuro próximo. Atualmente, as políticas de eficiência energética não conseguem atingir o segmento de HIS: normalmente as edificações são construídas com sistemas construtivos de baixa qualidade e com modelos arquitetônicos prontos, não considerando as condições climáticas locais, o que prejudica o seu desempenho termoenergético (OLIVEIRA, SILVA e PINTO, 2012; VIEIRA et al., 2012).

Assim, a fim de contribuir com a aplicabilidade da regulamentação de desempenho termoenergético, no tocante a sistemas de aberturas, esse trabalho procura avaliar as exigências relacionadas a sombreamento e a ventilação e iluminação natural em conjuntos de HIS construídos nas diferentes ZB de Mato Grosso do Sul (MS).

1.1 Objetivos

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a aplicabilidade dos requisitos normativos de sombreamento de aberturas e de iluminação e ventilação natural no desempenho termoenergético de HIS executadas nas diferentes ZB de MS, frente ao RTQ-R e às normas ABNT NBR 15220:2005 e ABNT NBR 15575:2013.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar os sistemas de aberturas das HIS frente aos requisitos do RTQ-R e das normas ABNT NBR 15220:2005 e ABNT NBR 15575:2013;
- Contribuir com a metodologia de análise dos requisitos de sombreamento de aberturas e de ventilação e iluminação natural dispostos nas normativas brasileiras;
- Identificar o impacto dos sistemas de aberturas no nível de eficiência energética da envoltória das HIS, conforme o RTQ-R, de acordo com a orientação e a ZB em que a edificação será implantada;
- Determinar sistemas de aberturas alternativos para a HIS, correlacionando o atendimento aos requisitos normativos e a possibilidade de alcançar projetos energeticamente mais eficientes.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O consumo de energia das edificações ocorre de forma direta e indireta, durante toda sua vida útil, tipicamente definida como 50 anos. O consumo indireto de energia é aquele relacionado ao processo de construção da edificação. Já o consumo direto está relacionado com a função e ocupação do edifício, sendo também chamado de operacional. Isso inclui os gastos com iluminação e equipamentos, desde condicionadores de ar até aparelhos eletrônicos de uso doméstico. Assim, o desafio atual é que os edifícios proporcionem níveis de conforto aceitáveis com a redução desse custo de operação, tornando-o energeticamente eficiente (MATOS, 2012; LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014).

Conforme dados de 2013 do Balanço Energético Nacional, as edificações residenciais, comerciais e públicas representam cerca de 50% de todo o consumo de energia elétrica do país. Melo, Sorgato e Lamberts (2014) indicam que existe um grande potencial técnico de economia nesse consumo, principalmente se considerada a eficiência energética desde a fase de projeto.

Apesar desse potencial de redução do consumo energético, Matos (2012) aponta que ele não é amplamente empregado devido a barreiras comportamentais, organizacionais e financeiras. Uma das estratégias mais eficazes de eliminar tais barreiras é a adoção de políticas e regulamentos apropriados que provoquem alterações no mercado e suportem profissionais, empresas e indústrias da construção (SCALCO et al., 2012). Diversos países já introduziram regulamentações a favor da eficiência energética das edificações, seja em caráter obrigatório ou voluntário.

Esse processo se iniciou na década de 1970, sendo que o primeiro critério dirigido ao desempenho térmico de um edifício foi na França. A partir de 1990, várias certificações surgiram no mundo, multiplicando-se as organizações envolvidas com políticas públicas e normatização para o setor (MATOS, 2012). Dentre as maiores organizações, temos a *International Code Council* (ICC), que lançou, em 2009, a norma Internacional de Construção Verde¹ (IGCC); e a USGBC (*U. S. Green Building Council*), entidade privada que criou o *Leadership in Energy and Environmental Design*[®] (LEED) e participou da elaboração de algumas normas da ASHRAE².

A principal iniciativa relacionada à conservação de energia em edificações no Brasil surgiu durante a crise energética de 2001, com a promulgação da Lei nº. 10.295/2001,

¹ *International Green Code Council*

² *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*

regulamentada pelo Decreto n.º. 4059 e que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia (SCALCO et al., 2012). Assim, foi desenvolvido, dentro do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), o subprograma PROCEL Edifica, visando proporcionar redução do consumo de energia nas edificações.

No âmbito do PROCEL Edifica, a Eletrobras³ — empresa de capital aberto, controlada pelo governo brasileiro e que atua na geração, transmissão e distribuição de energia elétrica — foi delegada para, em parceria com o INMETRO, no âmbito do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE)⁴, elaborar os regulamentos técnicos para determinação do nível de eficiência de edificações. Estes têm passados por revisões, sendo publicadas novas versões ou atualizações conforme a necessidade. Os regulamentos especificam requisitos técnicos avaliados por um organismo de inspeção acreditado pelo INMETRO para a concessão da Etiqueta PBE Edifica. O mecanismo de inspeção, assim como os documentos necessários e os tipos de etiquetas que podem ser geradas, é estabelecido nos Requisitos de Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética de Edificações (RAC), cuja última versão foi publicada em 2013.

A etiquetagem é aplicável a qualquer edificação, exceto às plantas industriais ou àquelas sem uso humano. Desde novembro de 2014, existe também o Selo Procel Edificações, que visa identificar edificações que atinjam nível “A” conforme os regulamentos técnicos do PBE, além de atenderem a outros requisitos de eficiência, de maneira a motivar o mercado consumidor a adquirir e utilizar imóveis mais eficientes (PROCEL, 2015).

No âmbito residencial, o RTQ-R é o regulamento técnico do PBE Edifica que, apesar de pouco difundido, deverá ter vigência obrigatória em 2030 (MME, 2011). Todavia, ainda há pouca preocupação em se adequar as edificações, tanto a este regulamento, como às demais normas que avaliam o desempenho térmico de edificações residenciais: ABNT NBR 15220:2005 e ABNT NBR 15575:2013.

A fim de estimular o atendimento à legislação vigente de desempenho termoenergético de edificações, é comum que o poder público tenha que manter a iniciativa nas ações. Um exemplo é a IN n.º02 de 04 de Junho de 2014 do MPOG, que tornou obrigatória a etiquetagem de edifícios públicos federais desde 05 de agosto de 2014. No âmbito residencial, é necessário então que sejam tomadas providências no tocante ao desempenho das HIS.

³ Centrais Elétricas Brasileiras S. A.

⁴ O PBE fornece informações sobre o desempenho de produtos (considerando a eficiência energética e outros critérios) que podem influenciar a escolha dos consumidores, de forma que possam escolher conscientemente.

Historicamente, percebe-se que as políticas habitacionais estimularam a redução do espaço da moradia e a busca por sistemas construtivos de baixa qualidade, procurando adaptar-se aos baixos valores limites de financiamentos disponibilizados (OLIVEIRA, SILVA e PINTO, 2012). Assim, normalmente são desconsideradas condições climáticas locais para o planejamento de um conjunto de HIS, que normalmente são projetadas por grandes construtoras, utilizando-se modelos arquitetônicos prontos (VIEIRA et al., 2012).

Nessa esfera, Vieira et al. (2012) analisaram HIS na Grande Florianópolis com base no RTQ-R e concluíram que melhores níveis de eficiência podem ser alcançados através de medidas simples que não teriam impacto no custo final da edificação se fossem consideradas na fase de projeto, como a substituição dos modelos das esquadrias e a utilização de dispositivos de sombreamento.

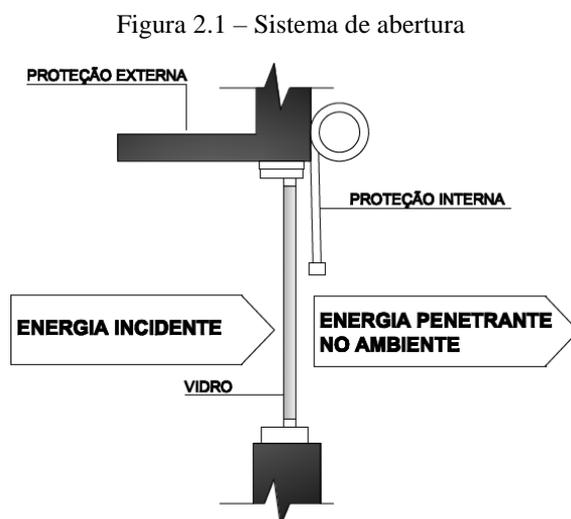
Outras pesquisas feitas em HIS também têm contribuído para o entendimento das necessidades dos usuários no tocante ao seu conforto, o que impacta diretamente no desempenho das edificações. Em Campo Grande – MS, por exemplo, a *survey* aplicada em 2011 por Paulo et al. (2012) caracterizou o perfil e os hábitos de consumo de água e de energia dos usuários de HIS, objetivando gerar subsídio para políticas públicas mais eficientes e oportunidades de inovação para o desenvolvimento tecnológico de produtos e processos em edificações de baixa renda. Relacionado ao conforto térmico, apenas 21% dos respondentes disseram sentir-se confortáveis em suas casas, enquanto que, com relação ao conforto lumínico, apenas 14% dos ocupantes reclamaram do nível de iluminação da residência (incluindo artificial e natural).

No mesmo ano, Santos et al. (2012) realizou uma pesquisa, através de entrevista, acerca do sistema de iluminação em HIS em Curitiba – PR. O trabalho concluiu que há predominância de ambientes multifuncionais nas residências: notou-se que os ambientes atendem a funções diversificadas, necessitando assim de diferentes níveis de iluminação. Ainda, os autores perceberam a existência de diferentes preferências em relação à iluminação entre as pessoas de uma mesma família. Dessa forma, os autores afirmam a importância de o sistema proposto ser adaptável às necessidades do usuário e do contexto, o que torna questionável os parâmetros de análise da iluminação natural nas normas de desempenho de edificações, por não considerarem as preferências do usuário e nem o real uso de cada ambiente.

Percebe-se, com esses trabalhos, que a eficiência energética de um edifício não depende somente de seus equipamentos instalados e materiais utilizados na construção, mas está sujeita ao usuário. Em pesquisa realizada por Raja et al. (2001), concluiu-se que as pessoas impactam no desempenho das edificações através dos controles — venezianas, aberturas de portas e

janelas, acionamento de ventiladores e lâmpadas, entre outros. A maneira de gerenciá-los depende da percepção do usuário, o que envolve, dentre outras coisas, cultura, experiência e educação (YANG, YAN e LAM, 2014). Dentre os controles, Raja et al. (2001) afirmou em seu trabalho que as janelas possuem a maior influência na eficiência energética de edifícios.

De fato, conforme Lamberts, Dutra e Pereira (2014), uma janela pode representar um verdadeiro elenco de funções na arquitetura, através dos fatores ventilação, ganho de calor solar, iluminação natural e contato visual com o exterior, sendo de grande importância para o conforto de um usuário. A exemplo dos autores, nesta pesquisa será chamado de sistema de abertura ao conjunto que inclui não só o tipo de esquadria e de vidro, mas também as proteções solares internas e externas, conforme a Figura 2.1.



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

Os itens a seguir apresentam a metodologia de avaliação da eficiência energética segundo o RTQ-R, as normas brasileiras que tratam do desempenho térmico — NBR 15220:2005 e NBR 15575:2013 —, a importância dos sistemas de abertura para a eficiência energética das edificações e a maneira como eles são tratados pela normalização de desempenho de edificações residenciais.

2.1 ABNT NBR 15220:2005 – Desempenho térmico de edificações

Publicada em 29 de abril de 2005, a NBR 15220 foi validada em 30 de maio do mesmo ano. A norma possui cinco partes, da seguinte maneira:

- Parte 1: Definições, símbolos e unidades;

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

A primeira parte da norma traz definições de vários termos e simbologia utilizadas no restante da normativa. As últimas duas partes tratam de experimentos para determinação de algumas propriedades térmicas, não sendo de importância para o estudo.

A segunda parte dessa norma traz uma metodologia que é adotada pelo RTQ-R e pela NBR 15575:2013 para calcular os valores de características térmicas dos componentes construtivos (paredes e coberturas). Esse método avalia “um elemento por vez”, de forma a considerar as propriedades térmicas dos materiais em série ou em paralelo conforme sua disposição no componente, de acordo com o fluxo de calor (que pode ser horizontal, descendente ou ascendente).

Já a terceira parte da NBR 15220 é a que define o zoneamento bioclimático brasileiro e orienta quanto à construção de HIS no que tange ao desempenho térmico propriamente dito. Assim, para cada ZB, a normativa oferece recomendações construtivas relativas a paredes, coberturas e aberturas (detalhadas no Anexo C – Recomendações e diretrizes construtivas para adequação da edificação ao clima local), e apresenta estratégias de condicionamento passivo para verão e para inverno.

2.1.1 O ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO BRASILEIRO

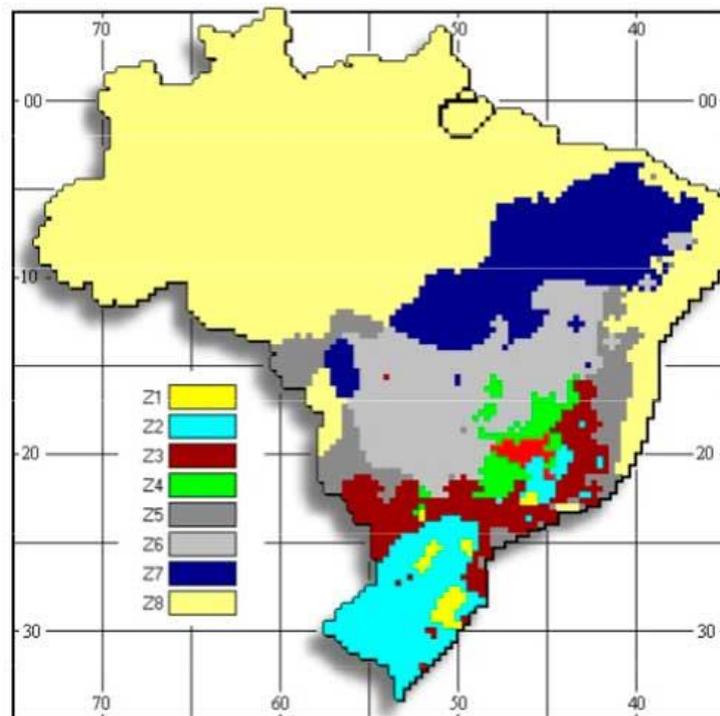
O Anexo B – Zoneamento Bioclimático do Brasil da NBR 15220-3 explica a metodologia utilizada para a definição das 8 ZB. Os dados climáticos utilizados foram: médias mensais das temperaturas máximas, médias mensais das temperaturas mínimas e médias mensais das umidades relativas do ar. O território brasileiro foi dividido em várias células, caracterizadas por tais dados climáticos, além de sua posição geográfica.

Para a classificação bioclimática, a normativa adotou uma carta bioclimática adaptada (a partir da sugerida por Givoni), de forma que as ZB foram definidas conforme as estratégias bioclimáticas a ele relacionadas. Essa metodologia classificou então o clima de 330 cidades,

sendo relacionadas no Anexo A da NBR 15220-3. O zoneamento bioclimático final foi definido por interpolação dessas informações, sendo apresentado na .

A ZB 1, que representa 0,8% do território nacional, é a mais fria, não possuindo nenhuma estratégia bioclimática para verão. A ZB 2 representa regiões também frias (6,4% do país), mas com necessidade de ventilação em alguns dias quentes do ano. Ambas as ZB são encontradas apenas nas regiões sul e sudeste.

Figura 2.2 – Zoneamento Bioclimático do Brasil segundo a ABNT NBR 15220-3:2005



Fonte: ZBBR (2016)

As ZB 3 e 4 possuem a maior parte das horas anuais em conforto, existindo necessidades pontuais de estratégias bioclimáticas para verão e inverno. Todavia, essas estratégias são distintas para cada ZB, visto que a primeira possui regiões mais úmidas (6,5% do território nacional), enquanto que a ZB 4 possui clima mais seco e representa uma região mais central do país (2,0% da área do país).

A ZB 6 são regiões de clima quente e semi-úmido, também na região central do território nacional, sendo o clima um pouco mais quente que na ZB 4. Esta região representa 12,6% do país. A ZB 7, que por sua vez também possui a mesma proporção da área do território, representa regiões quentes e bastante secas, como a maior parte não-litorânea do Nordeste, possuindo estratégias bioclimáticas somente para verão.

As ZB 5 e 8 são regiões com clima quente e úmido, sendo muito mais intenso na última. A ZB 5, que representa 5,6% do território, possui algumas estratégias bioclimáticas pontuais

para inverno; já a ZB 8, com a maioria da área do país (53,7%), possui a maior parte das horas anuais em desconforto por calor, de forma que é recomendada ventilação cruzada permanente.

Desde que a NBR 15220 entrou em vigência, inúmeras críticas ao zoneamento foram apresentadas, sendo grande parte dessas justificada devido à imprecisão na caracterização climática das cidades brasileiras (RORIZ, 2012). Dessa forma, está sendo elaborado desde 2012 uma revisão ao zoneamento, não havendo, contudo, previsão para aprimoramento e revisão das normativas, nem mesmo do RTQ-R, que teria sua metodologia de cálculo prescritivo alterada.

2.2 ABNT NBR 15575:2013 – Desempenho de edificações

A NBR 15575 foi publicada em maio de 2008, visando o desempenho de edificações residenciais de até cinco pavimentos, mas gerou dúvidas e receio sobre os possíveis reflexos causados na cadeia produtiva da construção. A norma foi então debatida e revisada entre 2010 e 2012, entrando em vigor uma nova versão em 19 de julho de 2013. A NBR 15575 atualmente se aplica a todas as edificações residenciais e possui seis partes:

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

Cada parte da norma possui a mesma sequência de títulos, que tratam dos seguintes itens de desempenho: desempenho estrutural; segurança contra incêndio; segurança no uso e na operação; estanqueidade; desempenho térmico; desempenho acústico; desempenho lumínico; durabilidade e manutenibilidade; saúde, higiene e qualidade do ar; conforto tátil, visual e antropodinâmico; e adequação ambiental. Para essa pesquisa, os itens mais importantes são os que tratam do desempenho térmico e lumínico.

O desempenho térmico é tratado na NBR 15575-1, na NBR 15575-4 e na NBR 15575-5. Em sua primeira parte, a norma propõe dois métodos de avaliação, um simplificado (que é detalhado nas outras duas partes) e outro que utiliza simulação computacional. Ainda, nessa parte é apresentada uma metodologia para medição *in loco*, não obrigatória.

A NBR 15575-4 apresenta parte do método simplificado, explicando a metodologia de avaliação dos fechamentos verticais (paredes e aberturas). O restante do método é exposto na NBR 15575-5, com a verificação do desempenho térmico da cobertura.

O desempenho lumínico é tratado na norma somente em sua primeira parte. São descritos métodos de avaliação tanto para a iluminação natural como para a artificial. Essa última é avaliada através de níveis mínimos fornecidos pelos equipamentos de iluminação instalados. Já a metodologia de análise da iluminação natural se dá de duas maneiras: simulação computacional para avaliação dos níveis mínimos de iluminação; e medição *in loco*, utilizando o Fator de Luz Diurna.

2.3 Regulamentação residencial brasileira para eficiência energética – RTQ-R

A etiqueta gerada pelo RTQ-R para identificar o nível de eficiência energética das residências avaliadas é estabelecida no RAC. A etiqueta classifica a eficiência da edificação em cinco níveis, de “A” (mais eficiente) a “E” (menos eficiente), conforme a pontuação obtida, que varia de 0 (zero) a 5 (cinco), em uma escala crescente de eficiência. Ambas as informações são apresentadas na etiqueta, além de possuírem uma cor correspondente para facilitar a identificação visual dos resultados. A Figura 2.3 apresenta um exemplo de etiqueta gerada para uma Unidade Habitacional Autônoma — UH (BRASIL, 2013).

Figura 2.3 – Etiqueta de edificação construída para UH



Fonte: RAC (BRASIL, 2013)

O RTQ-R traz os procedimentos para determinação da eficiência de UH, Edificação Unifamiliar (EU), Edificação Multifamiliar (EM) e Áreas de Uso Comum (AUC). Uma UH corresponde a uma EU ou a uma unidade (apartamento, por exemplo) de uma EM, e seu nível é determinado por meio do cálculo de eficiência e da análise de pré-requisitos específicos para dois sistemas: envoltória e aquecimento de água. Além disso, existem outras análises a fim de elevar esse nível, denominadas bonificações, nas quais se observam, por exemplo, o uso de iluminação e ventilação natural, o uso racional de água e até a eficiência de equipamentos entregues instalados na edificação.

De acordo com esse regulamento, o nível de eficiência da envoltória de uma edificação (UH ou EU) pode ser calculado por dois métodos: através de *softwares* de simulação termoenergética; ou por equações de regressão linear, que resultam de estudos anteriores utilizando esses programas, variando conforme a ZB onde está inserida a edificação. Quando é utilizado este último, conhecido como método prescritivo, consideram-se apenas os Ambientes de Permanência Prolongada (APP), como salas e dormitórios, para a maioria das análises.

O Equivalente Numérico da Envoltória (EqNumEnv) é o indicador da eficiência da envoltória no RTQ-R, e é relativo apenas a uma UH ventilada naturalmente, sendo determinado por uma equação envolvendo o Equivalente Numérico da Envoltória para Resfriamento (EqNumEnv_{Resf}) e para Aquecimento (EqNumEnv_A), com coeficientes que variam conforme a ZB. No caso das regiões mais quentes, ZB 5 a 8, o EqNumEnv é exatamente igual ao EqNumEnv_{Resf}. As características construtivas dos APP são consideradas em forma de variáveis — como “somb” (referente ao sombreamento das aberturas), CT_{par} (Capacidade Térmica das Paredes) e AAb_O (Área de Aberturas voltadas para Oeste) — para serem utilizadas nas equações de regressão linear, que resultarão, para cada APP, no Indicador de Graus Hora para Resfriamento (GH_R), no Consumo Relativo para Refrigeração (C_R) e no Consumo Relativo para Aquecimento (C_A). O C_R é determinado somente para dormitórios, e o C_A apenas para UH pertencente às ZB 1 a 4. Estes indicadores são convertidos, conforme tabelas do regulamento, em equivalentes numéricos para cada ambiente analisado, conforme apresentado na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Metodologia de cálculo da eficiência de cada ambiente de UH

Indicador de consumo	Equivalente Numérico	Ambiente aplicável	ZB aplicável
GH _R	EqNumEnvAmb _{Resf}	APP	Todas
C _A	EqNumEnvAmb _A	APP	1 a 4
C _R	EqNumEnvAmb _{Refrig}	Dormitórios	Todas

Fonte: Autor (2016)

Os equivalentes numéricos calculados para cada ambiente devem ser então ponderados pelas áreas úteis desses ambientes, resultando nos equivalentes anteriormente citados ($EqNumEnv_{Resf}$ e $EqNumEnv_A$) e no Equivalente Numérico da Envoltória para Refrigeração ($EqNumEnv_{Refrig}$), para a UH em avaliação. Este último não é utilizado no cálculo do $EqNumEnv$, sendo de caráter informativo — apresentado na Figura 2.3 —, podendo ser considerado posteriormente na determinação da bonificação de condicionamento de ar.

Entretanto, a avaliação da envoltória não se resume a isto: o regulamento impõe pré-requisitos para esse sistema por meio de exigências relativas às características térmicas dos componentes construtivos (absortância, transmitância térmica e capacidade térmica) de paredes e coberturas, e outras referentes à ventilação e à iluminação natural. Estes pré-requisitos fixam os valores máximos que podem ser atingidos pelos equivalentes numéricos anteriormente calculados, para cada APP ou para a UH, dependendo do caso. Assim, é necessário comparar os equivalentes determinados e os pré-requisitos conforme é feita a avaliação.

No caso do uso do método de simulação, apenas o pré-requisito referente às propriedades térmicas dos componentes não é avaliado. Neste método, o GH_R é determinado com base na temperatura operativa horária, que é obtida por meio da temperatura do ar no ambiente e da temperatura radiante média, obtidas por um *software* de simulação, e pela velocidade do ar no ambiente. O C_A e o C_R , utilizando esse método, são determinados considerando a UH ventilada (ou seja, com as mesmas definições usadas para o GH_R) durante 8h e 21h, sendo que, no restante do tempo, considera-se o uso de condicionadores de ar em cada dormitório. Os equivalentes numéricos são determinados conforme tabelas disponibilizadas no site do PROCEL.

Independentemente do método utilizado, cada um dos equivalentes numéricos corresponde a um nível de eficiência. Dessa forma, obtêm-se o Nível de Eficiência da Envoltória para Verão através do $EqNumEnv_{Resf}$, o Nível da de Eficiência da Envoltória para Inverno através do $EqNumEnv_A$ e o Nível de Eficiência da Envoltória caso Condicionada Artificialmente (de caráter informativo) por meio do $EqNumEnv_{Refrig}$.

O segundo sistema avaliado pelo RTQ-R, aquecimento de água, também apresenta pré-requisitos específicos e uma maneira distinta de cálculo do nível de eficiência para cada sistema avaliado — aquecimento solar, aquecimento a gás, bombas de calor, aquecimento elétrico e caldeiras a óleo —, existindo ainda os pré-requisitos gerais, relacionados à tubulação e ao reservatório de água quente. A eficiência de sistemas combinados é determinada com a ponderação de seus níveis por suas demandas, à exceção de casos definidos pelo regulamento. Portanto, o Equivalente Numérico do Sistema de Aquecimento de Água ($EqNumAA$) e,

consequentemente, o Nível de Eficiência do Sistema de Aquecimento de Água, são resultantes dos equivalentes de cada sistema entregue pelo empreendedor, considerando o valor máximo fixado pelos pré-requisitos.

O RTQ-R utiliza então o EqNumEnv e o EqNumAA para a determinação da Pontuação Total (PT) da UH, sendo dado um peso para cada equivalente dependendo da região geográfica em que a edificação se encontra, acrescentando por fim o valor das bonificações. Com essa variação da equação da PT com base na região, o regulamento consegue sustentar que a presença de um sistema de aquecimento de água não é tão importante nas regiões Norte e Nordeste como nas demais, mas independe da ZB.

As bonificações, por sua vez, são iniciativas que, se devidamente comprovadas e justificadas, podem aumentar em até 1 (um) ponto o valor da PT. Fazem parte dessa análise: ventilação natural, iluminação natural, uso racional de água, condicionamento artificial de ar, iluminação artificial, ventiladores de teto, refrigeradores e medição individualizada de água quente. À exceção da iluminação natural, que pode ser avaliada por simulação computacional, as demais análises das bonificações são todas prescritivas.

Por fim, temos um pré-requisito geral, que é aplicado diretamente na PT: medição individualizada de água e energia, caso haja mais de uma UH no mesmo lote. Com posse da pontuação final, é então obtido o Nível de Eficiência da UH. Para EU, o RTQ-R considera o mesmo método de cálculo descrito, de maneira que o Nível de Eficiência da EU é exatamente igual ao calculado para uma UH. Já para determinação do Nível de Eficiência da EM, pondera-se os níveis obtidos para cada UH pelas suas áreas úteis. Para esse caso, o RAC determina uma etiqueta para cada UH avaliada, além da etiqueta da EM.

Por fim, o RTQ-R possui um capítulo referente à avaliação das AUC, que são os ambientes de uso coletivo de EM ou de condomínios de edificações residenciais, não estando incluídas áreas comuns não frequentadas pelos moradores, como áreas de depósitos de lixo, casa de máquinas, casa de bombas, medidores, entre outros. A avaliação é distinta para áreas de uso frequente (como elevadores) e para áreas de uso eventual (como salões de festa). Nas Áreas Comuns de Uso Frequente (AUF), são avaliados a iluminação artificial, bombas centrífugas e elevadores, existindo também pré-requisitos relacionados a motores elétricos de indução trifásicos. Já nas Áreas Comuns de Uso Eventual (AUE), avaliam-se a iluminação artificial, os equipamentos, o sistema de aquecimento de água e a sauna, sendo que existe pré-requisito relacionado às características térmicas dos componentes construtivos, como na envoltória, caso tais áreas sejam construídas separadas das edificações residenciais. O RTQ-R

estabelece ainda que as AUC também podem receber bonificações que somem até 1 (um) ponto, considerando-se o uso racional da água e iluminação e ventilação natural das AUF.

Essas análises todas são necessárias para que sejam geradas etiquetas de projeto (para UH, EU, EM ou AUC), que possuem validade de até 5 (cinco) anos. Para que o proprietário da edificação faça uso da etiqueta, é necessário que, após a finalização da construção, seja verificado que não houve mudanças significativas durante a execução da obra, de forma que não tenha ocorrido a alteração do nível de eficiência previamente determinado. Os critérios para essa verificação constam no RAC.

2.4 Impacto dos sistemas de aberturas no desempenho termoenergético residencial

Como tratado anteriormente, sistemas de aberturas possuem importância inquestionável no conforto ambiental dos usuários. O estudo de Frontczak et al. (2012), por exemplo, encontrou forte relação entre nível de ruído, privacidade visual e satisfação com o ambiente de trabalho.

Em sequência, são apresentados conceitos e requisitos normativos para cada fator envolvido num sistema de abertura: propriedades dos fechamentos transparentes, ventilação natural, iluminação natural e dispositivos de sombreamento.

2.4.1 FECHAMENTOS TRANSPARENTES

As principais trocas térmicas em uma edificação acontecem nos fechamentos transparentes, visto que, dentre os três tipos básicos de trocas térmicas — radiação, condução e convecção —, a radiação representa o principal fator neste processo, devido à sua parcela diretamente transmitida para o interior, sendo que não ocorre nos fechamentos opacos. Apesar disso, os vidros são de grande importância ao se projetar uma edificação, pois são materiais que permitem certo controle da radiação solar, disponibilizando tanto luz como calor ao interior da edificação (CINTRA et al., 2009; LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014).

As características estéticas e transparência do vidro costumam atrair os projetistas; todavia, atualmente este material vem sendo utilizado de forma indiscriminada, independente das características climáticas locais, contribuindo para a ineficiência energética das edificações. Existem vidros de diferentes tipos, que possuem capacidades distintas em absorver, refletir ou transmitir a radiação solar: isto depende das características óticas do material, que variam com o comprimento de onda da radiação e com o ângulo de incidência (LAMBERTS, DUTRA e

PEREIRA, 2014). Os vidros transparentes ou incolores são os mais usados na construção civil devido ao seu menor custo e maior disponibilidade no mercado. Eles são transparentes às ondas curtas (permitindo boa visibilidade) e opacos às ondas longas, o que causa o efeito estufa (CINTRA, 2009).

Conforme Yaşar e Kalfa (2012), vidros de controle solar e/ou conservação de calor têm sido muito difundidos, sendo objetos de diversos estudos, observando impactos no consumo de energia com refrigeração e aquecimento. Nessa esfera, Urbikain e Sala (2009) desenvolveram uma pesquisa a fim de propor métodos para estimar economia de energia através do uso de vários tipos de vidros em edificações residenciais. No entanto, conforme CINTRA et al. (2009), em muitos catálogos não constam dados técnicos (como transmitância, refletância e fator solar de cada tipo de vidro) que permitam a avaliação desses produtos, o que dificulta a normatização para a eficiência energética.

No tocante às normas residenciais nacionais estudadas — NBR 15220, NBR 15575 e RTQ-R —, nenhuma traz requisitos diretamente relacionados com as propriedades dos vidros. Todavia, é comum trabalhar com a relação de área de abertura para iluminação pela área útil dos ambientes nos requisitos de iluminação natural, sendo que os fechamentos transparentes costumam contribuir para esse fator. Conforme Urbikain e Sala (2009), as normalizações estrangeiras costumam ter requisitos para vidros no que tange a transmitância térmica, coeficiente de ganho de calor solar e/ou transmissão de luz visível.

Ainda de acordo com o trabalho de Urbikain e Sala (2009), o desempenho do vidro depende do clima onde a janela será usada, do tipo da edificação e da orientação, sendo que não existe ainda um tipo de vidro ideal para todas as condições climáticas. Dessa forma, pode-se perceber a necessidade de desenvolvimento de requisitos normativos nacionais para ser aplicado junto às demais exigências de iluminação natural e sombreamento.

2.4.2 VENTILAÇÃO NATURAL

A ventilação natural é considerada uma importante estratégia bioclimática para lugares de clima quente e úmido, como é a maior parte do território nacional. Ela possui fatores variáveis e fixos: os primeiros compreendem os regimes dos ventos, comportamento das temperaturas e umidades; os fixos abrangem o entorno natural e edificado, a orientação e tipologia dos edifícios e os tipos de aberturas e esquadrias, sendo estes de maior interesse ao estudo em questão (SORGATO e LAMBERTS, 2012).

A ventilação natural pode ocorrer de duas formas: por meio do efeito dos ventos e/ou pelo efeito chaminé. No primeiro caso, a diferença de pressão sobre os edifícios provoca a

formação de zonas expostas a pressões positivas e de zonas expostas a pressões negativas. Há condição de ventilação do ambiente quando as aberturas de vãos em paredes sujeitas a pressões positivas possuem entrada de ar e as paredes sujeitas a pressões negativas possuem saída de ar (OLIVEIRA, KRIPKA e LOREDO-SOUZA, 2014). Já a ventilação vertical ou efeito chaminé é uma técnica muito eficaz quando é necessário retirar o ar quente que tende a se acumular nas regiões mais altas da edificação (NEVES e RORIZ, 2012).

Ainda, existe a ventilação noturna ou estrutural, que pode ser empregada para reduzir a temperatura do edifício à noite, quando a temperatura do ar externo é mais baixa que a do ar interno. Todavia, sua aplicação difere de edificações residenciais para comerciais ou públicas: em residências, essa estratégia pode melhorar as condições internas de conforto durante a noite, enquanto que em edifícios comerciais e públicos (com uso apenas diurno), a ventilação noturna resfria a estrutura do edifício para o próximo dia de trabalho. Assim, edifícios com maior inércia térmica usufruem mais desta técnica (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014).

Uma variável de ventilação que depende diretamente do tipo da abertura é a área de abertura para ventilação, que representa a área efetiva para ventilação quando a janela está totalmente aberta. A relação dessa variável pela área útil de um ambiente é a metodologia normalmente utilizada nas normas nacionais para a verificação da ventilação natural em edificações residenciais. Mas, de acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (2014), pode ser mais importante utilizar estratégias integradas a ampliar essa área, pois isso pode trazer prejuízos térmicos, lumínicos e sonoros. Segundo pesquisa realizada por Sorgato, Versage e Lamberts (2011), a área de ventilação possui influência significativa no desempenho térmico de edificações residenciais. Com base nos seus resultados, os melhores desempenhos estariam entre 8% a 15% da área de ventilação em relação à área útil do ambiente, sendo que, nesta faixa, o desempenho térmico é melhorado quanto maior a área de ventilação.

As normas NBR 15220-3 e NBR 15575-4 possuem requisitos de ventilação natural baseados nessa relação entre a área passível de abertura e a área útil do ambiente analisado. No RTQ-R, o pré-requisito de ventilação natural possui duas partes: percentual de áreas mínimas de aberturas para ventilação, calculado por ambiente, da mesma maneira que nas normas; e ventilação cruzada, avaliada por meio de uma equação simples baseada também nas áreas de abertura das esquadrias, porém avaliada para toda a edificação. O regulamento residencial complementa ainda, na esfera da ventilação natural, com algumas estratégias para bonificação, como a utilização de peitoris ventilados.

A Tabela 2.2 apresenta os requisitos de percentual de áreas de abertura para ventilação, comparando cada norma. Percebe-se exigências bastante parecidas entre o RTQ-R e a NBR 15575-4; entretanto, os valores da NBR 15220-3 são muito superiores.

Tabela 2.2 – Comparação entre os requisitos normativos de percentual de áreas de abertura para ventilação

NORMAS	ZB 1 a 6	ZB 7	ZB 8
15220-3	15% < A < 25%	10% < A < 15%	> 40%
15575-4	≥ 7%		≥ 8% ou ≥ 12%*
RTQ-R	≥ 8%	≥ 5%	≥ 10%

*12% apenas para região norte

Fonte: Autor (2016)

Apesar de o RTQ-R contemplar a importante estratégia de ventilação cruzada, a maneira como este pré-requisito é exigido parece ser falha, conforme apontado por Buges et al. (2014): de acordo com a metodologia proposta, uma edificação pode ter o seu nível de eficiência diminuído se as aberturas forem muito desproporcionais. Ou seja, uma abertura exageradamente grande pode prejudicar uma residência se as outras aberturas forem proporcionalmente muito pequenas, o que é contraditório.

Em trabalho realizado por Vieira et al. (2012), foram analisadas HIS na Grande Florianópolis, com base no RTQ-R. Verificando os resultados, percebeu-se que a área de abertura para ventilação natural teve grande influência na eficiência energética das edificações estudadas, sendo que as habitações com maior percentual de aberturas em fachadas distintas obtiveram classificações melhores no RTQ-R, demonstrando que a ventilação cruzada também proporcionou melhor desempenho térmico nesse caso. Como proposta de melhoria pelos autores, a substituição de janelas de correr por esquadrias de abrir possibilitou a ampliação dessas áreas de ventilação sem aumentar excessivamente as superfícies envidraçadas, o que poderia causar elevado ganho de calor.

Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014), elementos como a vegetação e superfícies edificadas, incluindo dispositivos de sombreamento, influenciam no ângulo de incidência e na intensidade com a qual o vento atinge a edificação. Todavia, esses elementos de entorno não são considerados em nenhuma das normas para verificação dos requisitos relacionados à ventilação natural.

Outro assunto diretamente relacionado à ventilação natural de edificações é a qualidade do ar: o condicionamento passivo pode fornecer não somente conforto térmico e redução do consumo de energia, como também qualidade do ar interno (SANTAMOURIS e

KOLOKOTSA, 2013). Nesse aspecto, nenhuma das normas tratadas nessa pesquisa considera esse assunto. Apesar do foco destas ser o desempenho térmico e energético, é importante considerar a importância de se definir qualidade mínima do ar interno em ambientes condicionados artificialmente. Normalmente, em países de clima frio, a ventilação é um requisito para qualidade do ar, e não para conforto térmico.

2.4.3 ILUMINAÇÃO NATURAL

Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014), o uso da luz natural pode representar uma grande economia de energia na arquitetura residencial, além de ser necessária para promover o conforto visual dos usuários. Além das aberturas verticais tradicionais, pode-se explorar a luz natural através de diversos recursos, como prateleiras de luz, átrios, persianas reflexivas, tijolo de vidro, telhados com *shed* e outros.

Hwang e Kim (2011) entrevistaram mais de 200 trabalhadores de escritórios acerca de seu conforto visual. O estudo descobriu que o nível de conforto está associado ao ambiente de iluminação interior: a distribuição de iluminação afeta o bem-estar psicológico e a produtividade dos ocupantes.

Em pesquisa desenvolvida em 2011 por Santos et al. (2012), através de entrevista, acerca do sistema de iluminação em HIS em Curitiba – PR, percebeu-se que um mesmo ambiente pode atender a funções diversificadas, necessitando assim de diferentes níveis de iluminação. Ainda, os autores concluíram que esses níveis requeridos de iluminação podem variar conforme o usuário.

Apesar de voltados a estudos de iluminação artificial, as conclusões desses dois últimos trabalhos se aplicam ao conforto visual dos usuários, auxiliando na proposição de sistemas de iluminação integrados — artificial e natural. Estudos nessa área vêm crescendo, visto que a última nem sempre é suficiente, dependendo da condição do céu e do horário do dia. Rupp (2011), por exemplo, destaca a necessidade de determinação de dimensões de ambientes ou janelas, bem como a avaliação do consumo de energia ou do conforto térmico dos usuários, a fim de estudar sistemas integrados de iluminação.

Com relação à normatização brasileira, a NBR 15220-3 não traz nenhuma recomendação para a iluminação natural de interiores, apenas para sombreamento; a NBR 15575-1 traz metodologias de avaliação que não são diretamente voltadas aos sistemas de aberturas, mas verificam o conforto lumínico da edificação; enquanto que o RTQ-R apresenta não apenas um pré-requisito de percentual de área mínima de abertura para iluminação em relação à área útil do ambiente (de forma semelhante ao requisito de ventilação), como também

fornece uma metodologia de cálculo (tanto prescritiva como por simulação) a fim de bonificar edificações que façam bom uso da iluminação natural.

Apesar de tal requisito do regulamento residencial, Lamberts, Dutra e Pereira (2014) destacam que aumentar a taxa de iluminação natural não significa necessariamente aumentar a área de aberturas, pois isto pode gerar maiores ganhos de calor solar indesejáveis.

Analisando outras regulamentações, percebe-se a existência de muitos outros parâmetros para averiguar a qualidade da iluminação, como na Norma Regulamentadora NR 17 – Ergonomia (2009), do Ministério do Trabalho e Emprego. Apesar de não ser voltada ao ambiente residencial, essa norma mostra que a regulamentação residencial aqui estudada exige apenas conceitos simples. Os parâmetros da NR 17 incluem: uniformidade e difusão; ausência de ofuscamento, reflexos incômodos, sombras e contrastes excessivos; e iluminância mínima do plano de trabalho adequada à atividade visual.

2.4.4 SISTEMA DE SOMBREAMENTO DE ABERTURAS

Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014), o uso de proteções solares em uma abertura é um recurso importante para reduzir os ganhos térmicos, sendo considerada a estratégia bioclimática mais importante para o Brasil. Entretanto, deve-se tomar o devido cuidado com a iluminação natural, para não ser prejudicada.

As proteções solares podem ser internas ou externas. As primeiras são basicamente as cortinas e as persianas, sendo bastante flexíveis sob o ponto de vista de operação. Porém, as proteções internas não evitam o efeito estufa, pois o calor solar que as atinge se transforma em radiação de onda longa, permanecendo em sua maior parte no ambiente interior. Assim, a proteção externa é mais viável, desde que devidamente dimensionada para garantir a redução da incidência da radiação solar, quando necessária, sem interferir na luz natural (YAO, 2014).

Yao (2014) desenvolveu um estudo em um edifício residencial na China para avaliar o impacto de sombreamento de aberturas na fachada sul, colocados em *retrofit*, no conforto dos usuários e na eficiência energética da habitação. O dispositivo de sombreamento proposto foi móvel e externo, paralelo à fachada. O autor fez várias medições e utilizou também simulação computacional. O estudo de simulação da edificação indicou que a proteção proposta não só melhora o conforto térmico interior no verão, mas também reduz drasticamente os riscos de desconforto. Houve potencial relativamente alto de economia de energia, aumento do tempo de conforto em 21%, diminuição do tempo de desconforto extremo em 80,4% e melhoria do conforto visual de 19,9%. Portanto, percebe-se que a proteção solar móvel tem um desempenho

significativo em termos de energia, conforto térmico e visual, e pode ser amplamente utilizado nas regiões de verão quente e inverno frio, como no caso de regiões do Centro-Sul do Brasil.

Vieira et al. (2012) analisou HIS na Grande Florianópolis com base no RTQ-R, e a proposição de proteções solares também demonstrou ter significativo impacto no aumento da eficiência das edificações estudadas. Os autores concluíram que melhores níveis de eficiência podem ser alcançados através de medidas simples que não têm impacto no custo final de HIS se forem consideradas na fase de projeto.

Outras estratégias para sombreamento das aberturas, conforme Lamberts, Dutra e Pereira (2014), incluem: prateleiras de luz, que dividem a abertura em duas porções horizontais, sendo a superior destinada à iluminação e a inferior à visão e ventilação; elementos arquitetônicos como marquises, varandas, grandes beirais e a própria volumetria do edifício; e o uso de vegetação para controle solar nos períodos mais quentes.

Com relação aos requisitos normativos relacionados a dispositivos de sombreamento, a NBR 15220-3 traz somente recomendações das ZB que devem ter as aberturas sombreadas, sem qualquer detalhamento; a NBR 15575-4 não traz requisitos voltados diretamente à iluminação natural nem ao sombreamento das aberturas; e no RTQ-R o sombreamento não é um requisito, mas é utilizado diretamente nos cálculos do nível de eficiência, como forma de uma variável (“somb”) nas equações do método prescritivo.

Vale ressaltar ainda que todos os requisitos são válidos apenas para dispositivos de sombreamento externos, sendo que, em nenhum caso, pode ser considerada a vegetação do entorno ou mesmo edificações vizinhas. O sombreamento por edifícios do entorno pode ser considerado no regulamento residencial, mas somente quando se utiliza o método de avaliação com simulação.

2.4.5 APLICAÇÃO DE ESTRATÉGIAS INTEGRADAS

Pode-se inferir que as normas de desempenho térmico tendem a avaliar, mesmo que indiretamente, o conforto dos usuários: a insatisfação passa a ser a causa do problema, e a normalização a solução. Entretanto, seguindo esses requisitos normativos, é possível projetar aberturas que não permitam boa distribuição da luz natural e pouco ou nenhum contato visual do usuário com o exterior, além de não considerar os ruídos próximos à edificação.

Para obter uma solução arquitetônica que responda simultaneamente a todas às necessidades dos ambientes e de seus usuários, é necessário usar as estratégias bioclimáticas de forma integrada. Todavia, conforme Lamberts, Dutra e Pereira (2014), elas podem ser contraditórias: a ventilação natural, por exemplo, pode significar um problema no inverno,

enquanto é uma solução no verão; da mesma forma, o aquecimento solar e o sombreamento têm suas necessidades invertidas conforme estes períodos do ano se alteram; a iluminação natural também pode significar incrementos indesejáveis no ingresso de calor solar no ambiente interno e, embora possa reduzir os gastos de energia com iluminação artificial, pode exigir mais gastos com refrigeração ou ventilação mecânica; e, ainda, quando se ventila e ilumina um ambiente adequadamente, pode-se estar criando um problema acústico.

Da mesma forma, o tipo de vidro interfere também tanto no consumo de iluminação artificial (transmissão de luz), como no consumo de condicionamento de ar (transmissão de calor). Assim, o vidro ideal deve ser pesquisado conforme o consumo de energia da edificação e o conforto térmico e visual dos usuários (YAŞAR E KALFA, 2012). O sombreamento, como tratado anteriormente, funciona da mesma forma: deve bloquear o ganho térmico não desejável, sem comprometer a luz natural, ou mesmo o ganho de calor quando as temperaturas internas da edificação estão baixas (YAO, 2014).

Ainda, as estratégias bioclimáticas discutidas devem ser integradas ao uso de equipamentos, visto que normalmente elas não satisfazem por completo às necessidades do ambiente. Por exemplo, deve ser considerada a integração da luz natural com a iluminação artificial, bem como a ventilação híbrida — ventilação natural e condicionamento artificial — no processo de pré-dimensionamento de área de janela (RUPP, 2011).

Apesar dos diversos estudos envolvendo a aplicação de condicionamento passivo em edificações, não existe nenhuma metodologia para a adoção de sistemas de aberturas ideais. Em primeiro lugar, como foi possível verificar, é difícil aplicar estratégias integradas, visto que as necessidades de conforto térmico, visual e acústico muitas vezes são contraditórias. Ainda, vários estudos demonstraram que o uso das aberturas é variável, não somente de acordo com a orientação da edificação, seu entorno e o clima, mas também conforme o usuário (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014; SANTOS et al., 2012; RAJA et al., 2001). Dessa forma, é difícil que um estudo consiga levar em consideração todas essas variáveis, mas os autores costumam trabalhar com resultados parciais, desde que não neguem as demais possibilidades não estudadas. Essa pesquisa possui como foco a aplicação de requisitos normativos voltados ao sombreamento de aberturas e à iluminação e à ventilação natural, mas será limitada apenas às edificações e ao seu clima de implantação, de maneira que não serão executados estudos com os usuários nem será considerado o entorno das habitações.

3 METODOLOGIA

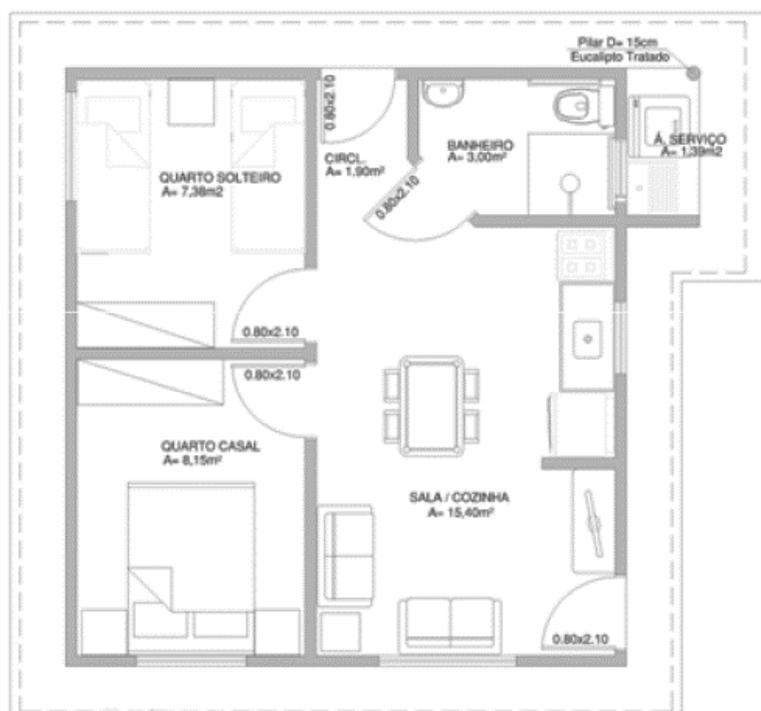
A pesquisa foi realizada em conjuntos de HIS construídas em diferentes ZB do estado de MS, frutos de um único projeto. As etapas para desenvolvimento desse trabalho estão abaixo detalhadas, logo após a apresentação do objeto de estudo, e incluem: análise dos requisitos normativos de sistemas de aberturas, avaliação da eficiência energética da envoltória conforme RTQ-R e estudos para a melhoria da eficiência energética das HIS.

3.1 Objeto de estudo

O projeto escolhido para ser avaliado nessa pesquisa é um projeto padrão de 41,66m² do “Programa Minha Casa Minha Vida 2 (PMCMV 2) sub 50”, que envolve a construção de HIS nas cidades com menos de 50 mil habitantes. O projeto, apresentado na

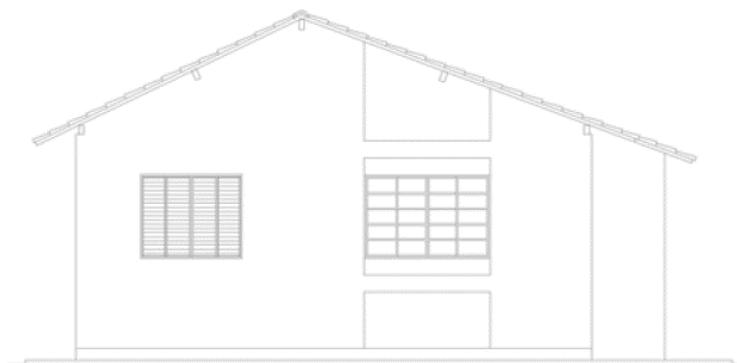
Figura 3.1 e na Figura 3.2, foi obtido na Agência Estadual de Habitação Popular de Mato Grosso do Sul (AGEHAB) e desenvolvido de forma que a área do empreendimento e suas características arquitetônicas são idênticas ao projeto com acessibilidade, alterando-se apenas a disposição dos móveis.

Figura 3.1 – Planta do projeto do PMCMV 2 sub 50



Fonte: AGEHAB (2015)

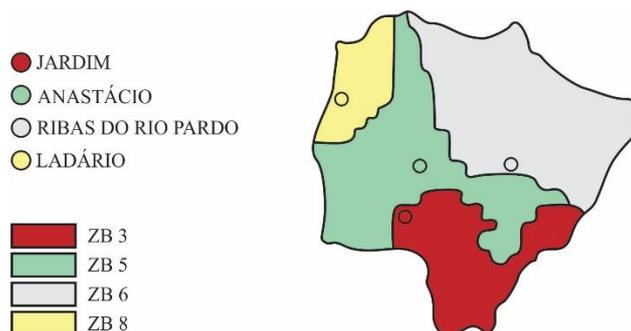
Figura 3.2 – Fachada frontal do projeto do PMCMV 2 sub 50



Fonte: AGEHAB (2015)

O agente financiador do programa varia conforme a cidade, mas é indiferente para a pesquisa. Como foi construído por todo o estado de MS, o “PMCMV 2 sub 50” atende, nesse estado, 23 municípios na ZB 3, 16 na ZB 5, 13 na ZB 6 e apenas 1 (um) na ZB 8, totalizando 53 municípios. O zoneamento bioclimático de MS pode ser visualizado na Figura 3.3.

Figura 3.3 – Zoneamento Bioclimático do estado de MS



Fonte: adaptado de ZBBR (2016)

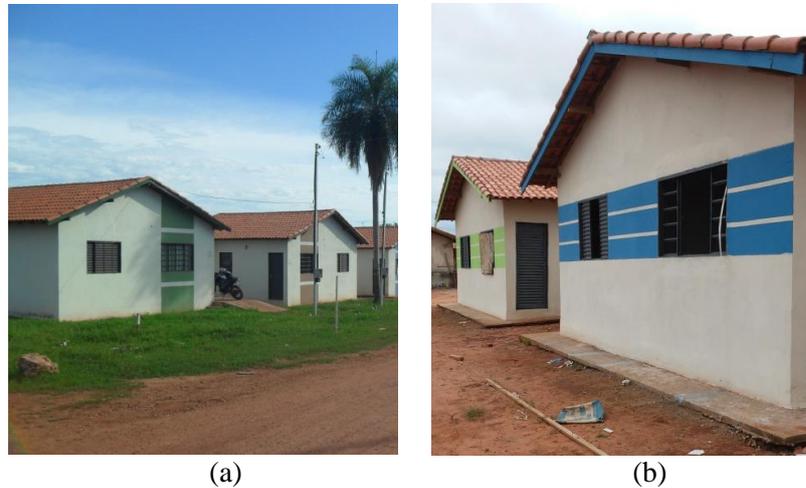
A fim de avaliar o projeto em todas as ZB do estado, foram escolhidas as seguintes cidades para realização do estudo: Jardim (ZB 3), Anastácio (ZB 5), Ribas do Rio Pardo (ZB 6) e Ladário (ZB 8). A Figura 3.4 apresenta registros fotográficos das HIS, tomados entre abril e maio de 2015. As casas já foram finalizadas e entregues em todas essas cidades.

As paredes externas e internas das edificações possuem a mesma composição, que inclusive é bastante comum nas HIS realizadas no estado, independente do programa: tratam-se de tijolos cerâmicos de 8 furos assentados a meia vez, com reboco interno e externo de argamassa de cimento e areia com 1,5 cm, de modo que a espessura total das paredes é de 12,0 cm. A argamassa de assentamento é também de areia e cimento com 1,5 cm de espessura.

A cobertura da edificação em sua maioria é apenas a estrutura do telhado em madeira com telhas cerâmicas, possuindo duas águas, a primeira com inclinação de 52% acima dos quartos e a segunda de 40% no restante da edificação. O pé-direito da edificação varia, então,

entre 2,70 m e 4,08 m. No banheiro e na circulação (parte final da cozinha), todavia, existe forro de madeira para dar suporte à caixa d'água, sendo o pé-direito fixo de 2,70 m.

Figura 3.4 – Registros fotográficos das HIS do “PMCMV 2 sub 50” em Ladário (a) e Ribas do Rio Pardo (b)

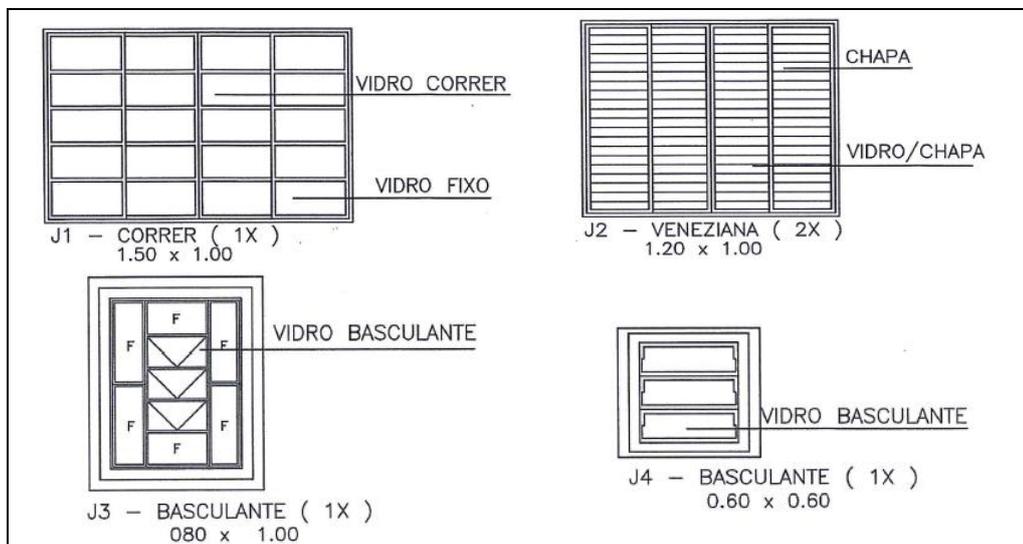


Fonte: Autor (2016)

As cores das paredes das habitações são bege com detalhes azuis ou verdes, sendo que estes variam também de acordo com a cidade, como pode-se perceber na Figura 3.4. As coberturas, todavia, não são pintadas.

As janelas em todas as HIS são metálicas e seguem quatro modelos padrões, sendo J1 na sala, J2 nos dormitórios, J3 na cozinha e J4 no banheiro, conforme mostra a Figura 3.5. As medidas das aberturas estão apresentadas na própria imagem. Nenhuma das aberturas possui sombreamento, exceto o beiral de 0,50 m ao redor de toda a edificação, mas numa altura relativamente alta para efetivamente proporcionar sombreamento às aberturas.

Figura 3.5 – Janelas do projeto do PMCMV 2 sub 50



Fonte: AGEHAB (2015)

As portas das edificações são todas de chapa metálica na mesma medida — 0,80 m de largura e 2,10 m de altura —, sendo 3 internas (acesso aos quartos e ao banheiro) e 2 externas (entrada principal e saída ao fundo).

3.2 Análise dos requisitos normativos de sistemas de aberturas

Como tratado na revisão bibliográfica, não existem atualmente na normatização nacional requisitos voltados aos fechamentos transparentes. Assim, o foco desse trabalho foi analisar os demais requisitos normativos relacionados a sistema de aberturas — ventilação natural, iluminação natural e sombreamento de aberturas —, com base nas recomendações da NBR 15220-3 (2005), nos pré-requisitos da envoltória do RTQ-R (2012) e nos requisitos da NBR 15575 (2013).

A análise da maior parte dos requisitos a seguir é tratada por ambiente. De acordo com a definição fornecida pelo RTQ-R (2012), ambiente é um espaço interno “fechado por superfícies sólidas, tais como paredes ou divisórias piso-teto, teto e piso e dispositivos operáveis tais como janelas e portas”. Nesse âmbito, a HIS em questão possuiria um ambiente único incluindo os quartos e a sala/cozinha, visto que não há forro na edificação. Todavia, isso esquivaria da ideia das normativas avaliarem ambiente a ambiente as habitações, especialmente no que tange à iluminação natural e ao sombreamento, como será visto em sequência.

É possível que os moradores coloquem forro em suas casas, como é bastante usual, o que interferiria nessa análise dos requisitos. E, de acordo com informações da AGEHAB, os projetos recentes de HIS são concebidos com forro de PVC⁵, salvo poucas exceções. Pelos motivos expostos, a edificação será considerada como tendo forro para fins de definição dos ambientes a serem analisados.

3.2.1 VENTILAÇÃO NATURAL

Foram verificados, para cada ZB, os seguintes itens:

1. Requisito de percentual de área de abertura para ventilação (NBR 15220-3, NBR 15575-4 e RTQ-R);
2. Requisito de ventilação cruzada (RTQ-R);
3. Bonificação de ventilação natural (RTQ-R).

⁵ Policloreto de Vinila.

Para cálculo do primeiro item, basta realizar a divisão entre a área passível de abertura para ventilação das janelas (desconsiderando esquadrias) de determinado ambiente, e dividir pela área útil do ambiente. Quando existe mais de um sistema de abertura no mesmo ambiente, somam-se as áreas de abertura — ou simplesmente os percentuais de área de forma direta. Tanto a NBR 15220-3, como a NBR 15575-4 e o RTQ-R apresentam valores mínimos recomendados, conforme disposto anteriormente na Tabela 2.2. Ainda, no caso do RTQ-R, é exigida a possibilidade de fechamento das aberturas nos períodos de frio, tanto para cidades nas ZB 1 a 7, como para aquelas cujas médias mensais das temperaturas mínimas fiquem abaixo de 20°C. Assim, a abertura não pode ser apenas um “vão livre”, mas precisa ter algum sistema de fechamento.

Já o segundo item a ser verificado, requisito de ventilação cruzada, existe somente no RTQ-R, e é verificado utilizando a equação (3.1), que determina a proporção das aberturas para ventilação natural.

$$\frac{A_2}{A_1} \geq 0,25 \quad (3.1)$$

Onde:

A_1 é o somatório das áreas efetivas de aberturas para ventilação localizadas nas fachadas da orientação com maior área de abertura para ventilação (m²);

A_2 é o somatório das áreas efetivas de aberturas para ventilação localizadas nas fachadas das demais orientações (m²).

A terceira verificação a ser feita não é um requisito normativo, mas é parte do RTQ-R relacionada à ventilação natural. Trata-se de uma bonificação que pode acrescentar até 0,40 pontos no nível de eficiência da edificação, e divide-se em quatro partes: (a) porosidade das fachadas; (b) utilização de dispositivos especiais que favoreçam o desempenho da ventilação; (c) existência de aberturas externas baixas; e (d) permeabilidade das aberturas intermediárias.

A fim de obter 0,12 pontos de bonificação com a porosidade das fachadas (a), deve-se comprovar, para uma UH de até dois pavimentos — como é o caso do objeto de estudo —, que a relação entre a soma das áreas de abertura e a área da fachada é superior a 20% em pelo menos duas fachadas da edificação.

A utilização de dispositivos especiais que favoreçam o desempenho da ventilação (b) em todos os APP, permitindo o controle da luz natural, da incidência de chuvas e dos raios solares e a manutenção da privacidade (como venezianas móveis, peitoris ventilados e torres de vento), podem conceder 0,16 pontos de bonificação para a edificação. Já a existência de aberturas externas cujo vão livre tenham o centro geométrico localizado entre 0,40m e 0,70m (c), medidos a partir do piso, geram uma pontuação adicional de 0,06 pontos para a UH, desde

que seja em todos os APP. Assim, a existência de peitoril ventilado em todos os ambientes, por exemplo, independentemente do tamanho das aberturas, pode gerar 0,22 pontos de bonificação.

Por fim, para a ZB 8, é possível obter 0,06 pontos no nível de eficiência da UH caso todas as aberturas intermediárias (portas, normalmente) apresentem permeabilidade mínima de 30% em relação à circulação de ar (d). Essas aberturas podem ser na própria folha da esquadria ou na forma de bandeiras móveis ou rasgos verticais, desde que passíveis de fechamento.

3.2.2 ILUMINAÇÃO NATURAL

Foram verificados os seguintes itens, que independem da ZB:

1. Requisito de percentual de abertura para iluminação (RTQ-R);
2. Bonificação de iluminação natural (RTQ-R).

O primeiro item verificado funciona de maneira semelhante ao requisito de percentual de área de abertura para ventilação. Todavia, apenas o RTQ-R traz essa verificação, sendo realizada por APP, e exige como valor mínimo 12,5% (relação entre a área passível de abertura para iluminação e a área útil de ambiente).

Como é possível perceber, se a edificação for considerada como sendo um único ambiente incluindo todos os cômodos, seria possível que um quarto tivesse aberturas imensas para iluminação enquanto que outro não possuísse nenhuma janela, e seria possível que a edificação atendesse esse pré-requisito. Por esse motivo, como foi discutido anteriormente, será considerado que a HIS possui forro.

O segundo item não é um requisito normativo, mas é uma parte do RTQ-R que envolve iluminação natural, permitindo o acréscimo de até 0,30 pontos no nível de eficiência de uma edificação. A análise pode ser feita por simulação, mas optou-se pelo método prescritivo — em conformidade aos demais requisitos —, sendo necessárias duas verificações distintas: a profundidade máxima de ambientes com iluminação natural proveniente de aberturas laterais (a) e a refletância do teto (b).

A primeira verificação dessa bonificação (a) é feita para APP, cozinha e área de serviço que tenha iluminação natural, podendo-se acrescentar 0,20 pontos ao nível de eficiência da edificação se a maioria desses ambientes (50% mais 1) tiverem profundidade máxima calculada através da equação (3.2). No caso de ambientes com aberturas em paredes diferentes, deve-se considerar a de menor profundidade.

$$P \leq 2,4 \cdot h_a \quad (3.2)$$

Onde:

P é a profundidade do ambiente (m);

h_a é a distância medida entre o piso e a altura máxima da abertura para iluminação, excluindo caixilhos (m).

Já a refletância do teto (b), pode somar 0,10 pontos como bonificação, desde que todos os ambientes acima citados — APP, cozinha e área de serviço — possuam refletância do teto superior a 60%.

O requisito de conforto lumínico da NBR 15575-1 não foi utilizado nessa pesquisa. É possível fazer a avaliação utilizando método de simulação ou avaliação *in loco*. Todavia, como o requisito não permite uma análise prescritiva e não está diretamente relacionado aos sistemas de esquadrias, foco do estudo, optou-se por não o verificar.

3.2.3 SOMBREAMENTO DE ABERTURAS

Foram verificados, conforme a ZB, os seguintes requisitos normativos:

1. Existência de sombreamento das aberturas (NBR 15220-3);
2. Cálculo da variável de sombreamento (“somb”) do RTQ-R.

O primeiro item trata da recomendação da NBR 15220-3 para cada ZB em sombrear ou não as aberturas. Não é um requisito normativo, exatamente, mas será avaliado para verificar a compatibilidade dessa norma com o RTQ-R. Conforme a NBR 15220-3, é necessário “permitir o sol durante o período frio” na ZB 1; “permitir o sol durante o inverno” nas ZB 2 e 3; e “sombrear aberturas” nas demais ZB (4 a 8).

Por fim, apesar da última verificação não ser um requisito do regulamento residencial, foi verificado o valor da variável “somb” a fim de realizar estudo posterior, verificando as necessidades de cada ZB. A metodologia do RTQ-R define um valor entre 0,0 e 1,0 para cada ambiente, da seguinte forma:

- “somb” é igual a 1,0 quando houver venezianas que cubram 100% da abertura quando fechada;
- “somb” representa um valor entre 0,0 e 0,5 (incluindo este último) no caso de ambientes com sombreamento por varanda, beiral ou brise horizontal, devendo ser calculado conforme a metodologia do Anexo I – Dispositivos de proteção solar em edificações residenciais, do RTQ-R;
- “somb” é igual a 0,2 para ambientes sombreados por varanda, beiral ou brise horizontal, desde que os ângulos limites de sombreamento atendam ao disposto na página 37 do RTQ-R.

3.3 Avaliação da eficiência energética da envoltória conforme RTQ-R

A fim de avaliar o desempenho termoenergético do projeto, optou-se pelo método de cálculo do RTQ-R. De acordo com esse regulamento, pode-se calcular o nível de eficiência energética de uma UH através de simulação termoenergética ou por equações regressivas. Optou-se, todavia, por se utilizar o último método, visto que a análise dos requisitos normativos se faz de forma prescritiva também.

A avaliação da HIS será feita para cada uma das 4 ZB do estado de MS, sendo analisadas nas 4 orientações geográficas. Assim, foi obtido um total de 16 resultados para o nível de eficiência da envoltória (EqNumEnv).

Inicialmente foram calculados os equivalentes numéricos específicos de cada ambiente — EqNumEnvAmb_{Resf}, EqNumEnvAmb_A e EqNumEnvAmb_{Refrig} —, através do cálculo do GH_R, C_A e C_R, respectivamente. As equações e tabelas utilizadas para as ZB estudadas nesse trabalho estão apresentadas no item 3.1 – Envoltória do RTQ-R, conforme referências da Tabela 3.1. Por falta de dados climáticos, edificações na ZB 5 utilizam as mesmas equações e tabelas da ZB 8.

Tabela 3.1 – Equações utilizadas para cálculo da eficiência energética da envoltória, segundo o RTQ-R

ZB	Equivalente Numérico	Indicador	Equação do RTQ-R	Tabela do RTQ-R
3	EqNumEnvAmb _{Resf}	GH _R	3.15	3.13
	EqNumEnvAmb _A	C _A	3.16	3.14
	EqNumEnvAmb _{Refrig}	C _R	3.24	3.30
	EqNumEnv	-	3.8	-
5 e 8	EqNumEnvAmb _{Resf}	GH _R	3.21	3.24
	EqNumEnvAmb _{Refrig}	C _R	3.28	3.38
	EqNumEnv	-	3.10	-
6	EqNumEnvAmb _{Resf}	GH _R	3.19	3.20
	EqNumEnvAmb _{Refrig}	C _R	3.26	3.34
	EqNumEnv	-	3.10	-

Fonte: Autor (2016)

Com esses equivalentes numéricos parciais, foram obtidos os níveis de eficiência da envoltória para verão e caso condicionada artificialmente, de todas as ZB, para cada orientação; e o nível de eficiência da envoltória para inverno, para as 4 orientações, na ZB 3. Dessa forma, foram obtidos e analisados 36 resultados parciais.

Além de aplicar as equações, analisou-se os pré-requisitos específicos da envoltória, sendo dois deles (iluminação e ventilação natural) já explanados anteriormente. O terceiro e último requisito é relativo às características térmicas das paredes e coberturas, sendo comparada a realidade do projeto da HIS aos limites estabelecidos no RTQ-R, no que se refere à absorvância solar das superfícies e à transmitância térmica e à capacidade térmica dos componentes construtivos. Esses pré-requisitos podem limitar os níveis de eficiência da envoltória encontrados nas equações.

Com os equivalentes numéricos encontrados, os níveis da edificação seguem o disposto na Tabela 3.2, que também indica as cores conforme a Etiqueta PBE Edifica.

Tabela 3.2 – Níveis de eficiência conforme equivalentes numéricos

Equivalente Numérico	Nível de eficiência
$\text{EqNum} \geq 4,5$	A
$3,5 \leq \text{EqNum} < 4,5$	B
$2,5 \leq \text{EqNum} < 3,5$	C
$1,5 \leq \text{EqNum} < 2,5$	D
$\text{EqNum} < 1,5$	E

Fonte: Adaptado do RAC (BRASIL, 2013)

Para realizar os cálculos, em conformidade com a análise dos requisitos normativos, optou-se por considerar a edificação com forro de PVC. Isso interfere nas áreas de fachadas e de parede interna, além das características térmicas da cobertura. Como a avaliação da edificação pelo RTQ-R é feita por ambiente, a habitação sem o forro teria um único APP, que seria o conjunto dos dois quartos com a sala/cozinha. Isso fugiria da ideia de avaliar ambientes separadamente, inclusive não sendo válido o nível da envoltória caso condicionada artificialmente — a menos que fosse considerado o ambiente único sendo um dormitório.

Com relação às cores das fachadas, será considerado um valor aproximado ao da cor bege, desconsiderando os poucos detalhes azuis e verdes existentes, já que possuem absorvância solares diferentes, porém com pouco ou nenhum impacto no resultado final.

3.4 Estudos para a melhoria da eficiência energética das HIS

A última etapa da pesquisa consistiu em analisar os resultados encontrados nas fases anteriores, identificando a correlação entre o atendimento ou não aos requisitos normativos e os níveis de eficiência energética da envoltória da HIS. Com isso, foram realizadas propostas

de alterações na edificação, especialmente nas aberturas de cada ambiente, conforme a ZB e a orientação geográfica, verificando a interferência dessas alterações na eficiência da edificação e no atendimento às exigências das normas. As modificações realizadas foram:

- Primeiro estudo: melhoria das características térmicas das paredes e coberturas a fim de atender aos requisitos normativos;
- Segundo estudo: disposição de dispositivos de sombreamento na sala/cozinha;
- Terceiro estudo: adaptação das janelas para atender aos pré-requisitos de iluminação e ventilação natural.

Com os resultados encontrados, debateu-se sobre a eficiência dos requisitos normativos relativos a sistemas de aberturas e da avaliação da envoltória pelo RTQ-R quando aplicados às HIS especificamente, dadas as particularidades desse tipo de construção.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, foram analisados os requisitos normativos referentes às aberturas da HIS. Em sequência, foi avaliada a eficiência da envoltória pelo RTQ-R, realizando-se então uma discussão dos resultados encontrados, com proposição de medidas de melhoria.

4.1 Análise dos requisitos normativos

Os requisitos verificados estão abaixo descritos, sendo referentes à ventilação e à iluminação natural, além do sistema de sombreamento das aberturas do objeto de estudo. A última parte desse item inclui uma breve discussão dos resultados com a revisão teórica feita, de maneira a debater sobre os métodos de análise utilizados e contribuir com o aprimoramento das metodologias dos requisitos normativos atuais.

4.1.1 VENTILAÇÃO NATURAL

Para analisar as exigências voltadas à ventilação, foi necessário identificar inicialmente a área de abertura passível de ventilação de cada modelo de esquadria. Os valores calculados estão descritos na Tabela 4.1, por sistema de abertura. A codificação apresentada é a mesma do projeto original, podendo ser conferida na Figura 3.5. A metodologia de cálculo para desconto da esquadria está no Anexo II – Tabelas de desconto de esquadrias do RTQ-R.

Tabela 4.1 – Área de abertura passível para ventilação, conforme o projeto

Sistema de abertura	Abertura para ventilação (Anexo II – RTQ-R)	Área passível de ventilação (m ²)
J1	40%	0,60
J2	40%	0,48
J3	80%*	0,19
J4	65%	0,25

*Considerando apenas a área basculante (passível de abertura), que é de 0,40 m por 0,60 m.

Fonte: Autor (2016)

O primeiro requisito normativo avaliado é o único existente nas três normativas estudadas, sendo que aparece nas normas como percentual de área de abertura para ventilação com relação à área do ambiente — ou simplesmente área para ventilação. Os ambientes a serem

avaliados variam conforme a norma: a NBR 15220-3 não discrimina os ambientes a serem avaliados; a NBR 15575-4 exige valores mínimos para quartos, cozinha e salas; enquanto o RTQ-R verifica os valores para quartos e salas somente (ou seja, APP). No caso da edificação avaliada, a sala e a cozinha são um ambiente só, chamado aqui de sala/cozinha. De maneira a generalizar os resultados, optou-se então por avaliar três ambientes do objeto de estudo: sala/cozinha, quarto casal e quarto solteiro. A Tabela 4.2 apresenta os valores calculados de área para ventilação para cada ambiente. Os valores mínimos exigidos dependem da ZB em que a edificação está implantada, conforme apresentado na Tabela 2.2.

Tabela 4.2 – Área de abertura para ventilação em relação à área do ambiente (%)

Ambiente	Área para ventilação (%)
Sala/cozinha	4,6%
Quarto casal	5,9%
Quarto solteiro	6,5%

Fonte: Autor (2016)

Tabela 2.2 – Comparação entre os requisitos normativos de percentual de áreas de abertura para ventilação

NORMAS	ZB 1 a 6	ZB 7	ZB 8
15220-3	15% < A < 25%	10% < A < 15%	> 40%
15575-4		≥ 7%	≥ 8% ou ≥ 12%*
RTQ-R	≥ 8%	≥ 5%	≥ 10%

*12% apenas para região norte

Fonte: Autor (2016)

Pode-se concluir que nenhum dos ambientes, independente da ZB da edificação, atingiu os valores mínimos de área para ventilação para nenhuma das normas em estudo. Caso o estudo fosse feito para a ZB 7, as aberturas de ambos os dormitórios seriam suficientes para atender ao pré-requisito do RTQ-R, mas ainda não atenderiam às demais normas.

No caso do RTQ-R, a área útil do ambiente utilizada para determinar o percentual de abertura para ventilação deve desconsiderar a circulação, como no caso da sala/cozinha. Para permitir a comparação com as demais normas, essa área não foi descontada nessa análise, mas confirmou-se que também não seria atendido esse pré-requisito mesmo desconsiderando a circulação.

Pode-se perceber, entretanto, que todas as aberturas são passíveis de fechamento durante o período de frio, atendendo ao menos essa solicitação do regulamento residencial, mas isso não é suficiente — é apenas parte do requisito. Assim, o nível máximo que pode ser atingido pelo $EqNumEnvAmb_{Resf}$ desses três ambientes é C.

Avaliando a edificação com relação ao requisito de ventilação cruzada do RTQ-R, obtiveram-se os seguintes dados para a fachada com maior área de abertura e para as demais fachadas, respectivamente: 1,08 m² (A₁) e 0,92 m² (A₂). É válido lembrar que essa avaliação independe da ZB e até mesmo da orientação da residência, e é feita para a edificação como um todo (ao contrário do item anterior, que é por ambiente), considerando-se assim a janela do banheiro também. Dessa forma, aplicando-se a equação (3.1), conclui-se que a relação entre as áreas encontradas é de 85%, de forma que esse requisito é atendido (valor superior a 25%), o que significa que, nesse aspecto, a edificação não possui limite de nível para o EqNumEnv^{Resfr}.

Todavia, no âmbito da ventilação cruzada, é interessante ressaltar que ela é dependente das portas internas estarem abertas na edificação. Apesar de a HIS original não possuir forro nem laje, e com isso permitir que o vento transite a edificação mesmo com as portas fechadas, isso para de ser verídico quando passamos a considerar o uso de forro na habitação, como é na maior parte dos projetos atuais. Com isso, a ventilação cruzada passa a depender da falta de privacidade nos quartos, além de permitir que odores da cozinha e do banheiro possam ser transmitidos involuntariamente ao restante da residência.

Por último, foram verificados os itens referentes à bonificação de ventilação natural do RTQ-R, e concluiu-se que:

- a) A porosidade de todas as fachadas foi inferior a 5%, sendo que seriam necessárias ao menos duas fachadas com porosidade superior a 20% para obter a bonificação. A Tabela 4.3 apresenta os valores calculados;
- b) Não existe nenhum dispositivo especial para beneficiar a ventilação natural;
- c) Não existem aberturas externas cujos vãos livres tenham o centro geométrico localizado entre 0,40 m e 0,70 m medidos a partir do piso;
- d) As portas não possuem permeabilidade em relação à circulação de ar conforme requerido para a ZB 8.

Tabela 4.3 – Cálculo da porosidade de cada fachada da edificação

Fachada	Área de aberturas na fachada (m ²)	Área de fachada (m ²)	Porosidade (%)
Frontal	1,08	26,80	4,0
Lateral dos quartos	0,48	18,72	2,6
Posterior	0,00	26,80	0,0
Lateral do banheiro	0,44	18,72	2,4

Fonte: Autor (2016)

Portanto, a edificação não obtém nenhuma pontuação adicional por bonificação de ventilação natural. Os valores de porosidade são, inclusive, bastante inferiores ao necessário (20%).

4.1.2 ILUMINAÇÃO NATURAL

Inicialmente, foi verificado o requisito de percentual de abertura para iluminação. Para tanto, foi necessário calcular as áreas de abertura passíveis de iluminação (áreas envidraçadas ou sem fechamento).

Para esse cálculo, utilizou-se toda a área que pode contribuir com luz natural: na janela com sombreamento móvel (J1), por exemplo, considerou-se as venezianas abertas. A metodologia de cálculo para desconto da esquadria está no Anexo II – Tabelas de desconto de esquadrias do RTQ-R. O requisito foi verificado para cada APP, conforme o RTQ-R, sendo que para a sala/cozinha, somou-se a área de abertura para iluminação da J1 e da J3 — 1,05m² e 0,52m², respectivamente.

Os valores de área de abertura, juntamente com os percentuais com relação às áreas de piso do ambiente, estão apresentados então na Tabela 4.4. Percebe-se que nenhum ambiente atende ao valor mínimo exigido pelo regulamento (12,5%). A sala/cozinha foi o ambiente mais próximo de atingir o valor necessário, enquanto que os quartos precisariam de janelas com quase o dobro do tamanho para atender esse pré-requisito. Dessa forma, o nível máximo que pode ser atingido por cada ambiente no $EqNumEnvAmb_{Resf}$, no $EqNumEnvAmb_A$ e no $EqNumEnvAmb_{Refrig}$ é C.

Tabela 4.4 – Área de abertura para iluminação – bruta e em percentual pela área do ambiente

Ambiente	Área de abertura (m²)	Área para iluminação (%)
Sala/cozinha	1,57	9,1
Quarto casal	0,54	6,6
Quarto solteiro	0,54	7,3

Fonte: Autor (2016)

No caso do RTQ-R, a área útil do ambiente utilizada para determinar o percentual de abertura para iluminação deve desconsiderar a circulação, como no caso da sala/cozinha. Para permitir a comparação com as demais normas, essa área não foi descontada, mas confirmou-se que também não seria atendido esse pré-requisito mesmo desconsiderando a circulação.

O segundo item, bonificação de iluminação natural, também é do RTQ-R, e exigiu duas verificações distintas. A primeira trata da profundidade máxima dos ambientes (a), e é aplicada

para os mesmos três ambientes, visto que a área de serviço não é coberta e a cozinha está conjugada à sala. A profundidade de projeto de cada ambiente e a máxima — calculada pela equação (3.2) — encontram-se na Tabela 4.5. De acordo com a metodologia do regulamento, na sala/cozinha foi considerada a menor profundidade, que é levando em consideração a janela da cozinha.

Tabela 4.5 – Profundidade dos ambientes – de projeto e máxima permitida para bonificação

Ambiente	Profundidade de projeto (m)	Profundidade máxima (m)
Sala/cozinha	3,27	4,68
Quarto casal	3,26	4,92
Quarto solteiro	2,50	4,92

Fonte: Autor (2016)

Pode-se concluir que a edificação em estudo, independente de ZB ou da orientação, obtém 0,20 pontos de bonificação. Todavia, percebe-se que a metodologia é bastante simplificada, não levando em consideração a largura ou a área da abertura, nem seu posicionamento no ambiente ou a área deste, para identificar se ocorre uma boa distribuição da luz natural. Ainda, por não considerar as condições climáticas, como a ZB, essa bonificação não leva em consideração a contribuição de luz natural durante o ano.

A segunda parte da verificação da bonificação analisa a refletância do teto desses mesmos ambientes (b). Considerando forro de PVC na cor branca em toda a edificação, todos os ambientes teriam refletância do teto superior a 60% e, conseqüentemente, é possível a HIS obter 0,10 pontos no seu nível de eficiência pelo RTQ-R. Se fosse considerado o projeto original, sem forro, a refletância nesse caso seria calculada utilizando a cobertura cerâmica e o madeiramento, ambos materiais de refletância baixa — a cerâmica, que representa a maior área, possui refletância entre 25 e 40%, conforme ensaios de Bonin e Pezzuto (2013), por exemplo —, o que indica que a edificação não conseguiria alcançar a bonificação.

4.1.3 SISTEMA DE SOMBREAMENTO DE ABERTURAS

Os itens verificados relacionados ao sombreamento de aberturas são bastante simples, mas variam conforme a ZB. O primeiro deles é uma recomendação da NBR 15220-3, para que as aberturas sejam sombreadas. Analisando a edificação, percebe-se que apenas as janelas dos dormitórios possuem sombreamento, da própria esquadria, que são as venezianas móveis externas. Dessa forma, como para as ZB 5, 6 e 8 é recomendado o sombreamento sempre, e para a ZB 3 a norma indica que se permita o sol durante o inverno, pode-se dizer que a HIS

atende a todas as situações no caso dos dormitórios. Todavia, no caso da sala/cozinha, essa recomendação não é atendida.

Já o segundo item, que é a variável “somb” do RTQ-R, deve ser calculado conforme metodologia específica. Novamente, nenhuma abertura possui sombreamento por varanda ou beiral: apenas os dormitórios possuem as venezianas móveis, de forma que o “somb” de cada ambiente está descrito na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Variável “somb” por ambiente, conforme RTQ-R

Ambiente	somb
Sala/cozinha	0,0
Quarto casal	1,0
Quarto solteiro	1,0

Fonte: Autor (2016)

Esses valores são utilizados diretamente no cálculo do nível de eficiência da envoltória quando se utiliza o método prescritivo de cálculo. Optou-se por apresentar esses valores de forma separada para comparar às demais análises. Todavia, apesar de serem bastante semelhantes, não é possível obter ainda conclusões da metodologia desses dois itens de sombreamento verificados: essa análise foi realizada com o prosseguimento da pesquisa, na avaliação da envoltória da edificação segundo o RTQ-R.

4.1.4 DISCUSSÃO DAS METODOLOGIAS NORMATIVAS ANALISADAS

Percebe-se que, para todos os itens analisados, as normas deixam algumas falhas, parte delas já percorridas na revisão bibliográfica: percebeu-se que é difícil aplicar os conhecimentos teóricos à prática, visto que cada elemento de uma janela — vidro, tamanho da abertura, sombreamento, orientação — impacta de maneira distinta na questão lumínica, acústica e térmica, podendo ser favorável ou desfavorável, dependendo das condições climáticas e do usuário. Assim, o desafio encontra-se em utilizar as estratégias de sombreamento e ventilação e iluminação natural de forma integrada, o que não é considerado nos requisitos normativos estudados.

Outra falha na normalização brasileira é a falta de concordância entre os valores requeridos nos requisitos de ventilação, comparando as três regulamentações estudadas: apesar do RTQ-R e da NBR 15575 apresentarem valores mais semelhantes, a NBR 15220 indica valores muito superiores. Unificar essas exigências facilitaria o atendimento pelos projetistas. Todavia, para a HIS, todos os valores exigidos foram elevados.

Outro item em discordância envolve a metodologia de verificação dos requisitos de iluminação natural, visto que o RTQ-R trabalha com aberturas, mas a NBR 15575 exige uma análise geral no ambiente. Esse tipo de avaliação talvez seja mais indicado, pois percebeu-se, na aplicação dos requisitos ao projeto de HIS que normalmente não são levadas em consideração a distribuição da luz no interior do ambiente, a disponibilidade de luz natural durante o ano, a área do ambiente (no caso da bonificação do RTQ-R), a altura das aberturas (no caso do pré-requisito do RTQ-R), entre outros que poderiam aprimorar essas análises.

Tanto no caso dos requisitos de ventilação natural como de iluminação natural, as normas não diferenciam valores mínimos de aberturas com base em sua orientação, nem mesmo com relação à latitude da edificação. Conforme a teoria, essas informações são de extrema importância para se projetar janelas que aproveitam os recursos naturais com maior qualidade, e não simplesmente quantidade. Uma janela orientada a sul, em um edifício no hemisfério sul, pode trazer boa luminosidade para o ambiente interno praticamente sem receber sol direto — isto é, sem aquecer desnecessariamente a edificação. Da mesma maneira, aberturas orientadas para os ventos predominantes podem proporcionar melhor ventilação para o ambiente se comparadas a grandes aberturas orientadas sem planejamento.

Ainda nesse assunto, como discutido anteriormente na bonificação de iluminação natural do RTQ-R, outro item que não é considerado nas normas é o posicionamento da abertura no ambiente. Esse aspecto é importante tanto para permitir boa distribuição da luz natural como para proporcionar melhor circulação do vento no ambiente.

Com relação ao sombreamento das aberturas, percebe-se que os quartos somente atendem ao requisito da NBR 15220-3 e atingiram 1,0 de “somb” no RTQ-R por possuírem venezianas em suas janelas. Esse dispositivo de sombreamento, contudo, não permite a iluminação e a ventilação do ambiente simultaneamente. Portanto, apesar dessas normativas apresentarem a importância do sombreamento para o Brasil, não conseguem exigir de forma eficiente, isto é, integrada à ventilação natural, que é outra estratégia bioclimática essencial para a maior parte do território nacional — ZB 2 a 8 (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014).

Finalmente, outro ponto importante que não é considerado nos requisitos normativos é o aspecto de estratégias flexíveis, isto é, as normas não consideram requisitos para períodos frios e quentes separadamente. Apesar de boa parte do território brasileiro ter inverno quase insignificante (ZB 7 e 8, o que representa mais de 50%), muitos locais dependem de estratégias diferenciadas para verão e inverno. A NBR 15220-3 traz recomendações para projeto bioclimático diferenciando essas duas estações, mas não existem requisitos numéricos com essa finalidade. Já o RTQ-R avalia a envoltória para verão e inverno (nesse último caso, somente

para as ZB 1 a 4), mas também não indica a necessidade de áreas de ventilação diferenciadas nos pré-requisitos, por exemplo, conforme a estação.

Com base em todo o tratado e analisado no objeto de estudo, conclui-se que as metodologias de avaliação não são eficientes pois desconsideram uma grande quantidade de fatores que funcionam de maneira integrada. Vale lembrar que não foi realizada nenhuma avaliação utilizando simulação, em conformidade com a metodologia prescritiva dos requisitos normativos. Normalmente, estudos de simulação conseguem considerar diversas variáveis simultaneamente, o que pode ser a melhor solução para conseguir aplicar seguramente as estratégias de condicionamento passivo de forma integrada.

4.2 Avaliação da eficiência energética da envoltória conforme RTQ-R

A envoltória da HIS foi avaliada utilizando o método prescritivo do RTQ-R, de acordo com o zoneamento bioclimático de MS, para as 4 possibilidades de orientação geográfica. Para o cálculo da eficiência energética da envoltória, foram aplicadas as equações apresentadas na Tabela 3.1 e, por conseguinte, foi necessário determinar as diversas variáveis a serem utilizadas nas equações.

As áreas de abertura e das fachadas foram calculadas de acordo com o projeto recebido da AGEHAB. Para os cálculos iniciais, a fachada principal da edificação foi considerada orientada a norte, sendo os resultados dispostos na Tabela 4.7. Esses valores foram então trocados para as demais possíveis orientações da residência. Com base nessas variáveis, foram definidas outras variáveis binárias simples a serem utilizadas nas equações, que definem a existência de aberturas e paredes externas conforme a orientação.

Com relação às aberturas, existem ainda duas variáveis, que são relativas ao fator de abertura para ventilação (F_{vent}) e ao sombreamento, este último já discutido anteriormente no item 4.1.3 (Tabela 4.6). O F_{vent} , de acordo com o RTQ-R (2012), é um “valor adimensional proporcional à abertura para ventilação em relação a abertura do vão”. Essa variável está apresentada na Tabela 4.8, assim como outras variáveis que independem da orientação: área útil, área de paredes internas, pé-direito e algumas binárias que indicam o contato do ambiente com o exterior (cobertura ou pilotis) ou com o solo. Todas essas foram determinadas também com dados do projeto recebido da AGEHAB.

Tabela 4.7 – Áreas de fachadas e de aberturas

Variável	Sala/cozinha	Quarto casal	Quarto solteiro
----------	--------------	--------------	-----------------

Área de abertura a Leste (m ²)	0,00	8,80	7,97
Área de abertura a Norte (m ²)	11,36	8,69	0,00
Área de abertura a Oeste (m ²)	12,72	0,00	0,00
Área de abertura a Sul (m ²)	3,85	0,00	8,69
Área de parede externa a Leste (m ²)	0,00	0,00	1,20
Área de parede externa a Norte (m ²)	1,50	1,20	0,00
Área de parede externa a Oeste (m ²)	0,80	0,00	0,00
Área de parede externa a Sul (m ²)	0,00	0,00	0,00

Fonte: Autor (2016)

Tabela 4.8 – Variáveis independentes da orientação – parte 1

Variável	Sala/cozinha	Quarto casal	Quarto solteiro
F _{vent}	0,34	0,40	0,40
Área útil (m ²)	17,21	8,15	7,38
Área de paredes internas (m ²)	21,37	13,87	13,04
Pé-direito (m)	2,70	2,70	2,70
Cob*	1	1	1
Solo**	1	1	1
Pil***	0	0	0

*Cob: Variável que define se o ambiente possui fechamento superior voltado para o exterior (1) ou não (0). É possível existir valores intermediários conforme metodologia do RTQ-R

**Solo: Variável que define se o ambiente possui piso em contato com o solo (1) ou não (0). É possível existir valores intermediários conforme metodologia do RTQ-R.

***Pil: Variável que define se o ambiente possui piso voltado ao exterior através de pilotis (1) ou não (0). É possível existir valores intermediários conforme metodologia do RTQ-R.

Fonte: Autor (2016)

Finalmente, as demais variáveis — que não dependem da orientação — são as características térmicas das paredes e cobertura: transmitância térmica (U) e capacidade térmica (CT) dos elementos construtivos e absorvância solar das superfícies (α). As duas primeiras foram calculadas conforme a NBR 15220-2, utilizando as propriedades térmicas de Morishita et al (2011), dispostas na Tabela 4.9. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 4.10, sendo idênticos para todos os ambientes. Esses dados também são usados para determinar mais duas variáveis binárias de forma bastante simplificada, que indicam se a CT é muito baixa ou muito alta.

Para a absorvância solar das paredes externas e cobertura, também apresentada na Tabela 4.10, foram utilizados os valores da cor bege (paredes) e telha (cobertura) do Anexo V –

Catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros do RAC, sendo as cores que pareceram mais próximas às da edificação fotografada, já que não constava no projeto. As cores dos detalhes das casas, azuis e verdes, foram desconsideradas por serem variáveis e com influência insignificante. Ponderando as cores das paredes, por exemplo, a absorvância solar não iria variar nem em 5%, e isso também não teria impacto direto no pré-requisito específico, como pode ser visto em sequência.

Tabela 4.9 – Propriedades térmicas dos materiais da envoltória

Material	Densidade de massa aparente (kg/m³)	Condutividade térmica (W/mK)	Calor específico (kJ/kgK)
Argamassa (reboco/assentamento)	2000	1,15	1,00
Cerâmica – tijolo	1600	0,90	0,92
Cerâmica – telha	2000	1,05	0,92
PVC	1300	0,20	0,96

Fonte: Autor (2016)

Tabela 4.10 – Variáveis independentes da orientação – parte 2

Variável	Sala/cozinha
Absortância solar da cobertura – α_{cob}	0,70
Capacidade térmica da cobertura - CT_{par} (kJ/m ² K)	143,20
Transmitância térmica da cobertura – U_{par} (W/m ² K)	2,09
Absortância solar das paredes externas – α_{par}	0,39
Capacidade térmica das paredes externas – CT_{par} (kJ/m ² K)	115,73
Transmitância térmica da cobertura – U_{par} (W/m ² K)	2,58

Fonte: Autor (2016)

A análise dos pré-requisitos da envoltória, necessários também para a definição do nível de eficiência, se dá em três partes: (1) transmitância térmica, capacidade térmica e absorvância solar das superfícies, sendo os valores necessários já calculados na Tabela 4.10; (2) ventilação natural, apresentada na Tabela 4.2; e (3) iluminação natural, também já verificada na Tabela 4.4. O primeiro pré-requisito depende da ZB em que se encontra a edificação e está apresentado na Tabela 4.11. A Tabela 4.12 indica, então, o atendimento ou não a cada item.

Por fim, utilizou-se as variáveis calculadas anteriormente para determinar a eficiência da envoltória. Os resultados com o nível da envoltória para cada ambiente, sem a inclusão dos pré-requisitos, estão dispostos em sequência (Figura 4.1, Figura 4.2 e Figura 4.3), utilizando

as equações da Tabela 3.1 — lembrando-se que o $EqNumEnvAmb_A$ só é determinado para a ZB 3 e o $EqNumEnvAmb_{Refrig}$ somente para os quartos.

Tabela 4.11 – Pré-requisitos do RTQ-R para paredes e cobertura

Zona Bioclimática	Componente	Absortância solar (adimensional)	Transmitância térmica [W/(m ² K)]	Capacidade térmica [kJ/(m ² K)]
ZB 3, 5 e 6	Parede	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,70$	$CT \geq 130$
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 2,50$	$CT \geq 130$
	Cobertura	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 2,30$	Sem exigência
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 1,50$	Sem exigência
ZB 8	Parede	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,70$	Sem exigência
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 2,50$	Sem exigência
	Cobertura	$\alpha \leq 0,4$	$U \leq 2,30$	Sem exigência
		$\alpha > 0,4$	$U \leq 1,50$	Sem exigência

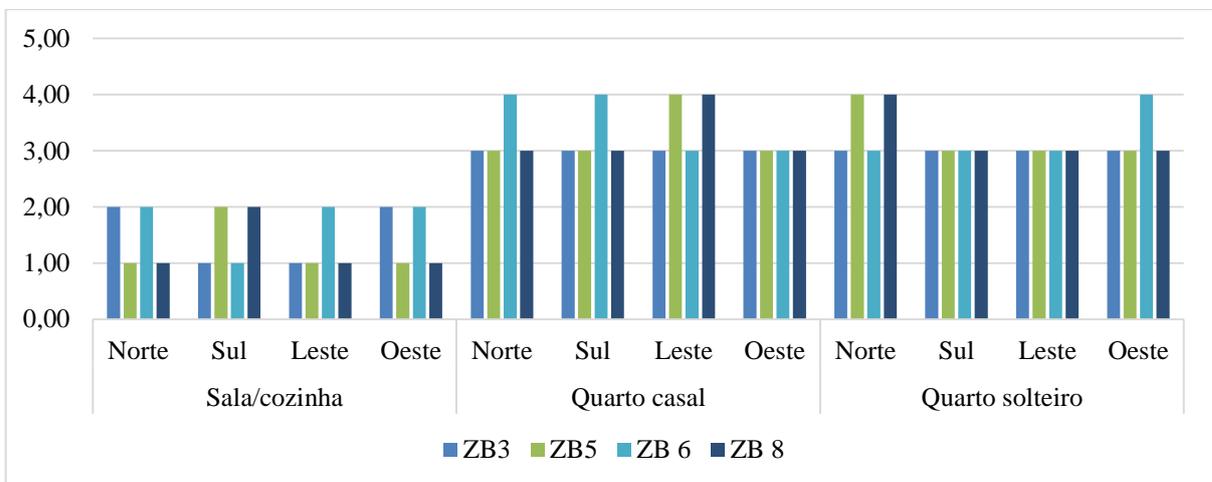
Fonte: Autor (2016)

Tabela 4.12 – Pré-requisito relativo às características térmicas da envoltória

Zona Bioclimática	Parede	Cobertura
ZB 3	Não atende	Não atende
ZB 5	Não atende	Não atende
ZB 6	Não atende	Não atende
ZB 8	Atende	Não atende

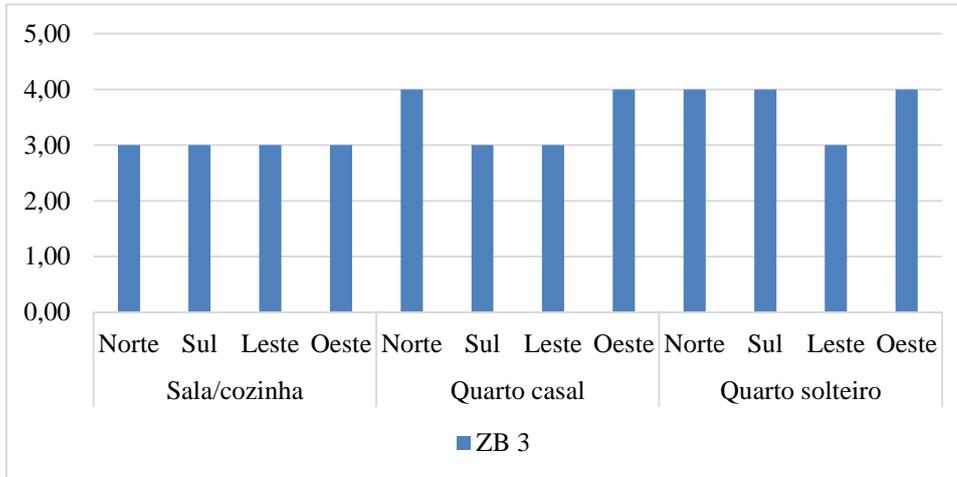
Fonte: Autor (2016)

Figura 4.1 – $EqNumEnvAmb_{Resf}$ (Envoltória para Verão), sem a inclusão dos pré-requisitos, conforme orientação e ZB da edificação



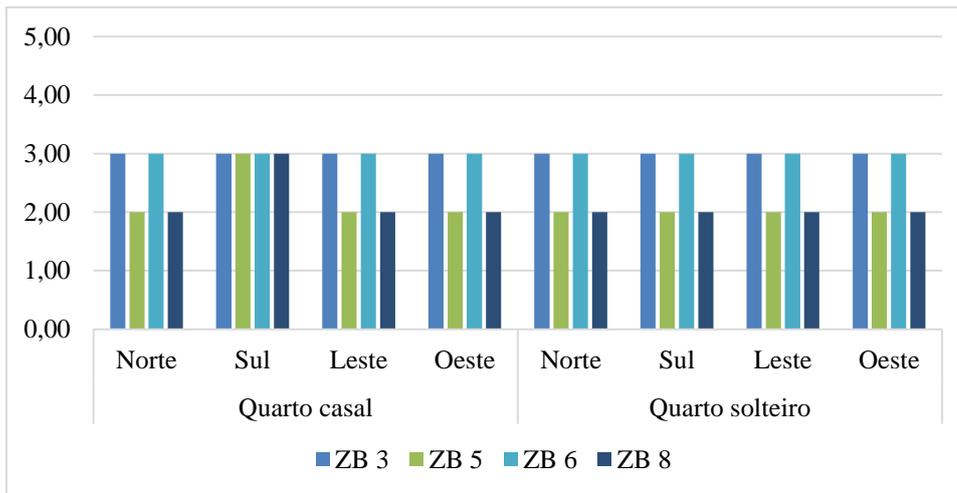
Fonte: Autor (2016)

Figura 4.2 – EqNumEnvAmb_A (Envoltória para Inverno), sem a inclusão dos pré-requisitos, conforme a orientação (ZB 3)



Fonte: Autor (2016)

Figura 4.3 – EqNumEnvAmb_{Refrig} (Envoltória caso condicionada artificialmente), sem a inclusão dos pré-requisitos, conforme a orientação e a ZB da edificação



Fonte: Autor (2016)

De acordo com a Figura 4.1, a sala/cozinha não obteve nenhum equivalente numérico superior a 2,0 (representativo de nível D), independentemente da orientação, para todas as ZB. Ainda no tocante ao EqNumEnvAmb_{Resf}, as demais configurações de ZB e orientação tiveram pouca influência, mas os resultados para os quartos foram significativamente melhores nas ZB 5, 6 e 8 (poucos acima do nível médio, que seria equivalente numérico igual a 3,0).

Os equivalentes numéricos da envoltória com e sem a inclusão dos pré-requisitos, além do nível final, determinado através da média dos níveis anteriores ponderados pela área, estão finalmente apresentados na Tabela 4.13, sendo indicados conforme as cores da Tabela 3.2.

As ZB 5 e 8 obtiveram resultados iguais porque o RTQ-R utiliza a mesma equação, mas os pré-requisitos são diferentes. No caso da ZB 8, não é necessário melhorar as paredes

externas, mas as áreas de aberturas devem ser superiores às da ZB 5, e a cor da cobertura deve ser mais clara do que para a ZB5.

Tabela 4.13 – Equivalentes numéricos finais da envoltória, com indicação do nível por cor

ZB	Orientação	Envoltória para Verão (EqNumEnv _{Resf})		Envoltória para Inverno (EqNumEnv _{VA})		Env. condicionada artificialmente (EqNumEnv _{Refrig})		Equivalente Numérico da Envoltória (EqNumEnv)	
		Sem pré-requisitos	Real	Sem pré-requisitos	Real	Sem pré-requisitos	Real	Sem pré-requisitos	Real
ZB3	Norte	2,47	2,47	3,47	3,00	3,00	3,00	2,83	2,66
	Sul	1,95	1,95	3,23	3,00	3,00	3,00	2,41	2,33
	Leste	1,95	1,95	3,00	3,00	3,00	3,00	2,33	2,33
	Oeste	2,47	2,47	3,47	3,00	3,00	3,00	2,83	2,66
ZB5	Norte	2,17	1,95			2,00	2,00	2,17	1,95
	Sul	2,47	2,47			2,52	2,52	2,47	2,47
	Leste	2,20	1,95			2,00	2,00	2,20	1,95
	Oeste	1,95	1,95			2,00	2,00	1,95	1,95
ZB6	Norte	2,72	2,47			3,00	3,00	2,72	2,47
	Sul	2,20	1,95			3,00	3,00	2,20	1,95
	Leste	2,47	2,47			3,00	3,00	2,47	2,47
	Oeste	2,70	2,47			3,00	3,00	2,70	2,47
ZB8	Norte	2,17	1,95			2,00	2,00	2,17	1,95
	Sul	2,47	2,47			2,52	2,52	2,47	2,47
	Leste	2,20	1,95			2,00	2,00	2,20	1,95
	Oeste	1,95	1,95			2,00	2,00	1,95	1,95

Fonte: Autor (2016)

Analisando a Tabela 4.13, percebe-se que os requisitos limitaram os níveis a C em todas as situações (para todas as ZB e orientações). Em todo o caso, boa parte dos equivalentes numéricos foram bastante baixos, de forma que, na maioria dos equivalentes, os pré-requisitos nem tiveram influência no nível da envoltória, como na sala/cozinha (Figura 4.1 e Figura 4.2).

Ainda conforme a Tabela 4.13, as melhores orientações para o nível da envoltória para inverno foram norte e oeste, como pode ser confirmado na Figura 4.2, sendo que os quartos obtiveram equivalentes levemente superiores aos da sala/cozinha.

A Figura 4.3 e a Tabela 4.13 indicam ainda que os dormitórios da edificação não são eficientes energeticamente para o uso de equipamentos de condicionamento de ar, pois o nível da envoltória para refrigeração foi C ou inferior, mesmo sem computar os pré-requisitos. Percebeu-se, todavia, que as edificações quando implantadas nas ZB 3 e 6 obtiveram melhor desempenho do que nas ZB 5 e 8. Conforme discorrido na fundamentação teórica, percebe-se também que a qualidade do ar não é levada em consideração como um requisito ou observação para o caso de a edificação ser artificialmente condicionada.

No tocante à orientação da edificação, os resultados foram bastante semelhantes, de modo que não existe uma orientação geográfica claramente superior às demais para a implantação do projeto. Todavia, é perceptível que essas pequenas diferenças variam também conforme a ZB.

Por fim, os resultados indicam que a edificação não é energeticamente eficiente suficiente para um projeto construído em grande escala, visto que o EqNumEnv variou entre 1,95 e 2,66 para todas as avaliações realizadas (Tabela 4.13), o que concederia Etiqueta PBE Edifica com nível da envoltória igual a D em 14 dos 16 casos. É importante salientar também que, conforme os EqNumEnv apresentados na Tabela 4.13, apenas 1 dos 16 casos tiveram o nível de eficiência reduzido devido à aplicação dos pré-requisitos (ZB 6 com fachada principal a oeste).

4.3 Estudos para a melhoria da eficiência energética das HIS

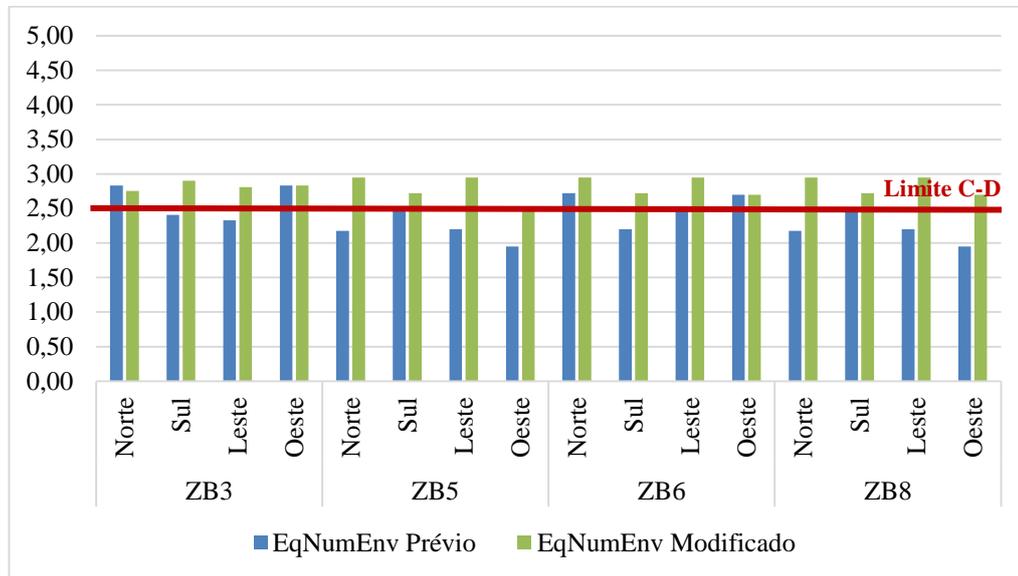
Como visto na avaliação da envoltória, a edificação praticamente não atendeu nenhum pré-requisito, não somente no tocante às áreas de abertura para iluminação e ventilação, mas também com relação às características térmicas das paredes e coberturas. Inicialmente, para identificar o impacto real das aberturas, foram alterados os valores das coberturas e paredes externas, de forma fictícia: para as ZB 3, 5 e 6, a absorvância da cobertura foi considerada 0,60, enquanto a capacidade térmica das paredes foi 130,00 kJ/m²K; para a ZB 8, somente a absorvância da cobertura foi diminuída, sendo considerada 0,40.

Os novos resultados foram significativamente superiores, de forma que os EqNumEnv de cada ambiente, sem considerar os pré-requisitos, estão dispostos na Figura 4.4, junto aos valores encontrados anteriormente. O único equivalente inferior foi na ZB 3, quando a fachada principal está orientada a Norte, pois a diminuição da absorvância da cobertura reduziu o nível da Envoltória para Inverno do quarto casal. De fato, percebeu-se ao reaplicar as equações que a alteração da CT_{par} praticamente não alterou os níveis encontrados anteriormente, sendo a α_{cob} foi a responsável pelas mudanças de EqNumEnv encontradas.

Anteriormente, percebeu-se na Tabela 4.13 que, na maior parte dos casos (14 de 16), o nível da envoltória só atingia D sem pré-requisitos, sendo C em apenas duas situações. Assim, essa pequena melhora no EqNumEnv foi suficiente para que em todos os casos a edificação atingisse nível C. Apesar dessa melhora significativa em todas as ZB, para todas as orientações,

os pré-requisitos de iluminação e ventilação natural não limitaram o nível de eficiência da envoltória (pois nenhum nível foi superior a C).

Figura 4.4 – EqNumEnv sem pré-requisitos: comparação entre o resultado apresentado na Tabela 4.13 e adaptando as características térmicas das paredes e coberturas



Fonte: Autor (2016)

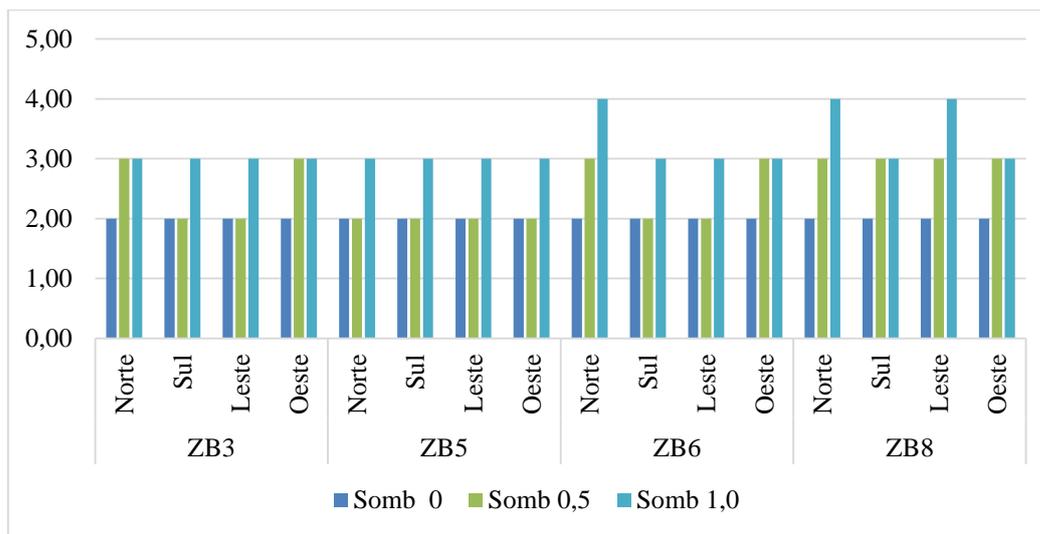
Existem muitas variáveis e conseqüentemente uma grande possibilidade de estudos paramétricos para identificar alternativas para a melhoria da eficiência da envoltória. Como a pesquisa em questão possui foco nos sistemas de aberturas, optou-se por prosseguir com as alterações anteriores — absorvância solar da cobertura e capacidade térmica das paredes — e alterar as variáveis referentes às janelas.

O segundo estudo então foi promover sombreamento das aberturas na sala/cozinha, utilizando dois valores de “somb”: 0,5 e 1,0, considerando brises bem dimensionados e venezianas, respectivamente. Para a utilização desses valores fictícios, pretende-se que ambas as janelas — a da sala e a da cozinha propriamente ditas — sejam sombreadas. Os resultados de variação da Envoltória para Verão podem ser visualizados no gráfico da Figura 4.5. O EqNumEnvAmb_A não está disposto pois o “somb” não interfere na equação que o determina.

Percebe-se que ZB 3 apresentou melhoria da eficiência para verão utilizando apenas brises nas orientações norte e oeste, que são aquelas que recebem mais calor solar; nas demais orientações, foi necessário sombreamento completo para elevar o desempenho. As ZB 5 e 8, apesar de utilizarem a mesma equação, passaram a fornecer resultados diferentes visto que a absorvância da cobertura na ZB 8 é 0,20 inferior ao da ZB 5, com base na primeira modificação realizada. Enquanto a ZB 5 só teve melhoria na eficiência com o “somb” de 1,0, a ZB 8 obteve EqNumEnvAmb_{Resf} superior em todos os casos, inclusive aumento para nível B (equivalente

numérico 4,0) nas orientações Leste (janela da cozinha a Norte) e Norte quando se utiliza veneziana. Por fim, a ZB 6 teve impacto semelhante ao da ZB 3, com exceção de que o sombreamento total, quando a edificação está orientada a norte, aprimorou o nível de eficiência a B.

Figura 4.5 – EqNumEnvAmbResf (Envoltória para Verão) da sala/cozinha, para todas as orientações e cada ZB, variando a variável “somb”



Fonte: Autor (2016)

Importante salientar que a sala/cozinha possui duas janelas e a maior delas está orientada para a fachada principal da edificação, sendo possível perceber que os impactos mais significativos no EqNumEnvAmbResf da Figura 4.5 se deram na orientação Norte (de forma que a abertura da cozinha está voltada para Oeste), que recebe mais sol durante o dia. Ainda, o aumento do “somb” para 0,5, mesmo quando não elevou o equivalente numérico, teve impacto no GH_R (ver Tabela 3.1), somente não suficiente para alterar o nível.

Para um terceiro estudo, optou-se por adaptar o estilo das janelas, de forma que fossem suficientes para atender aos pré-requisitos. Para tanto, utilizou-se janela tipo camarão nos quartos e na principal da sala/cozinha para que a área iluminada e ventilada fosse o maior possível comparada ao tamanho da abertura (90%, conforme o Anexo II – Tabelas de desconto de esquadrias do RTQ-R). Os novos valores de área de abertura para iluminação e ventilação e F_{vent} estão na Tabela 4.14, sendo que o “somb” da sala voltou a ser considerado o original, que é 0,0, já que não é comum utilizar venezianas na sala e na cozinha, e o sombreamento por brises não teve impacto na maioria dos casos. Os resultados encontrados (EqNumEnv) estão apresentados na Figura 4.6.

Analisando a Figura 4.6, vê-se que a maior parte dos casos avaliados obtiveram desempenho superior aumentando o F_{vent} , lembrando que as áreas das aberturas — e, por

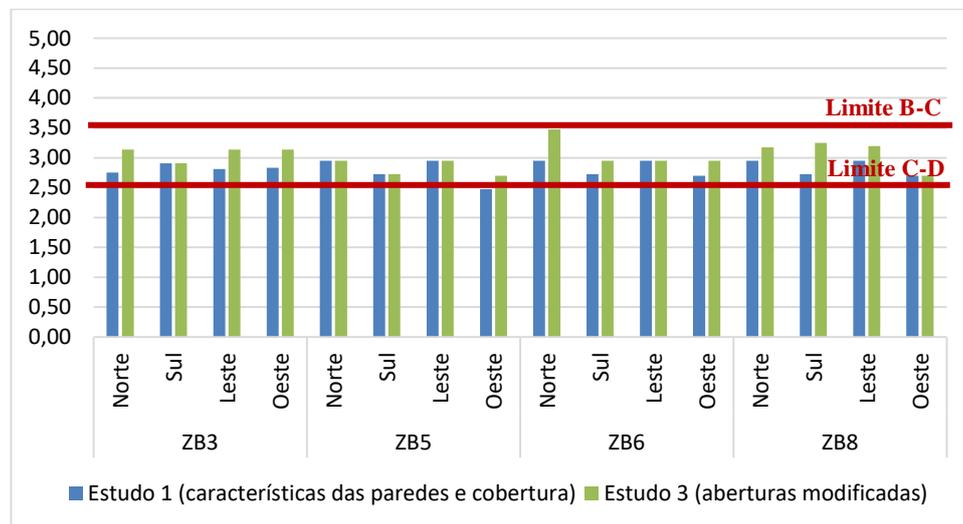
consequente, as áreas das fachadas — permaneceram as originais. Essa melhoria no EqNumEnv variou de 0% a 19%, não sendo suficiente para elevar o nível da envoltória acima de C, o que o primeiro estudo já havia permitido. Percentualmente, a ZB 6 foi a que demonstrou menor acréscimo ao EqNumEnv, com média de 2,3%

Tabela 4.14 – Variáveis modificadas para o terceiro estudo

Variável	Sala/cozinha	Quarto casal	Quarto solteiro
Área de abertura para iluminação (m ²)	1,08	1,08	1,99
Área de abertura para ventilação (m ²)	1,08	1,08	1,54
F _{vent}	0,90	0,90	0,67

Fonte: Autor (2016)

Figura 4.6 – EqNumEnv para todas as orientações e cada ZB, variando as janelas para tipo camarão (estudo 3)



Fonte: Autor (2016)

Esse terceiro estudo utilizou valores suficientes em todos os pré-requisitos para que fossem atendidos. Assim, a envoltória da edificação não está mais restrita a C. Todavia, os resultados apresentados na Figura 4.6 indicaram equivalentes numéricos sempre inferiores a 3,50 — isto é, não existe nenhum caso com potencial nível B. Assim, o requerimento mínimo relacionado às aberturas para iluminação e ventilação, discutidos anteriormente, não foi suficiente para proporcionar desempenho acima da média para o objeto de estudo, independente da ZB ou mesmo de seu posicionamento no terreno.

Dessa forma, qualquer alteração que for realizada no projeto poderá ainda melhorar sua eficiência, já que não está mais limitada aos pré-requisitos do RTQ-R. Em todo o caso, essas alterações deverão ser realizadas provavelmente no que tange ao tamanho das aberturas, criação de novas aberturas em fachadas diferenciadas, sombreamento das janelas da sala/cozinha e/ou

propriedades térmicas de paredes e, principalmente da cobertura. A ausência de forro na edificação, considerando o projeto real, reduziria ainda mais a eficiência da HIS, visto que a cobertura é essencial para o desempenho da edificação, por ser a maior responsável pelo recebimento de carga térmica, chegando a até 72,3% (MASCARÓ e MASCARÓ, 1992).

Por fim, pode-se perceber que, para a edificação em estudo, nas ZB analisadas, os requisitos de iluminação e ventilação do RTQ-R atendem à realidade, de forma que as exigências foram justas ao limitar o nível da edificação a C. Inclusive, se as janelas fossem adaptadas para atender ao requisito de ventilação natural da NBR 15575-4, como os valores de área de ventilação exigidos são próximos aos do RTQ-R, a mudança no nível da envoltória seria pouco significativa — somente seria necessário aumentar as janelas para a região norte (Tabela 2.2). Já com relação à NBR 15220-3, as áreas de ventilação exigidas são bastante amplas, sendo necessário complementar a pesquisa para determinar o impacto de aberturas mais amplas no desempenho da habitação, pois haveria conseqüentemente a redução das áreas de paredes externas.

No tocante ao sombreamento, o requisito da NBR 15220-3 indicando a necessidade de sombreamento das aberturas é bastante válido visto que o nível de eficiência da edificação aumenta consideravelmente quando se sombreia as aberturas. Inclusive, a recomendação dessa norma para a ZB 3, indicando que se deve permitir o sol durante o inverno, vai de encontro com o fato de que o “somb” não afeta o $EqNumEnvAmb_A$ nessa ZB. Apesar disso, essas recomendações da norma ficam em aberto, não indicando o tipo de sombreamento. Se utilizados brises simples, o “somb” nas equações do RTQ-R podem ser valores entre 0,20 e 0,50 apenas, o que em muitos casos não permite a melhoria do nível, como no caso da sala/cozinha (Figura 4.5).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A fim de contribuir com a aplicabilidade das regulamentações de desempenho termoenergético residencial nacionais, em especial o RTQ-R e a NBR 15575, esse trabalho estudou os requisitos relacionados a sistemas de aberturas através da análise de HIS construídas nas quatro diferentes ZB do estado de MS.

A primeira parte do estudo analisou comparativamente as exigências da NBR 15220, da NBR 15575 e do RTQ-R no tocante ao sombreamento de aberturas, à ventilação natural e à iluminação natural. A segunda e terceira parte da metodologia utilizada envolveram a avaliação da envoltória conforme o método prescritivo do RTQ-R, fazendo-se posteriormente estudos de melhoria da eficiência, tendo como enfoque os sistemas de aberturas. Essas avaliações foram feitas para 4 possibilidades de locação da edificação no terreno, conforme a orientação da fachada principal, em conformidade com a realidade da execução de conjuntos de HIS.

Analisando os resultados à base teórica pesquisada, percebeu-se que as normas brasileiras deixam algumas lacunas, principalmente devido à dificuldade de se propor estratégias integradas. Ao trazer requisitos pontuais, as normativas não conseguem analisar todos os elementos possíveis, como o tamanho da abertura, a orientação, o tamanho do ambiente, o tipo de vidro, entre outros, sendo que todos impactam de maneira distinta no desempenho termoenergético da edificação, dependendo das condições climáticas e do usuário.

Com relação aos requisitos de ventilação natural, observou-se que a normalização brasileira traz exigências com valores muito distintos. Enquanto o RTQ-R e da NBR 15575 apresentam valores mais semelhantes, a NBR 15220 recomenda aberturas para ventilação muito maiores. Em todo o caso, a HIS estudada não atendeu à nenhuma das regulamentações e as janelas não foram limitantes ao calcular o nível de eficiência da envoltória mesmo propondo-se aberturas com vãos maiores de ventilação (tipo camarão). Dessa análise pode-se concluir que, para o objeto de estudo, os requisitos de ventilação do RTQ-R e da NBR 15575-4 indicam exigências justas em conformidade ao desempenho da edificação. Em todo o caso, nenhuma das normas trata da orientação das aberturas, da latitude da edificação e de ventos predominantes, nem mesmo exigem valores de ventilação diferentes conforme as condições de verão e inverno.

Um item considerado importante em normativas de outros países é a qualidade do ar interno, normalmente considerada junto aos requisitos de ventilação natural. Todavia, nenhum dos regulamentos estudados trata desse assunto. Seria importante prever algo a esse respeito ao

menos no RTQ-C, já que este fornece o nível de eficiência da envoltória caso condicionada artificialmente. Essa consideração poderia ocorrer em conjunto ao pré-requisito de área para ventilação, de forma que ele limitasse também o $EqNumEnvAmb_{Refrig}$ e o $EqNumEnvAmb_A$ a 3 — não somente o $EqNumEnvAmb_{Resf}$, como é atualmente.

No tocante à iluminação natural, percebeu-se discordância entre a metodologia de verificação dos requisitos de iluminação natural entre o RTQ-R, que tem como foco as aberturas, e a NBR 15575, que procura analisar o ambiente. Apesar de este último método não ter sido utilizado na pesquisa por motivos explicados na metodologia, o pré-requisito da regulamentação residencial se mostrou falho por não levar em consideração fatores como a posição e orientação da janela ou a disponibilidade de luz natural durante o ano. Dessa forma, não é possível garantir boa distribuição de luz no ambiente com as exigências do RTQ-R, nem mesmo com o seu item de bonificação de mesma finalidade.

Verificou-se também a ausência de metodologia para exigência de propriedades dos vidros e de sombreamento de aberturas. Com relação a este último, apenas há recomendações de sombreamento na NBR 15220-3, sendo que os quartos somente atenderam aos valores da norma por possuírem janelas com venezianas. Da mesma forma, com o RTQ-R, o “somb” máximo alcançado pelos dormitórios não garante que seja economizada energia com equipamentos de iluminação e de climatização, visto que o sombreamento só é possível com as janelas fechadas, impedindo tanto a iluminação como a ventilação natural. Portanto, a NBR 15575, por ser a única obrigatória até o momento, deveria trazer considerações sobre o sombreamento das aberturas em sua quarta parte (fechamentos verticais), bem como sobre características dos fechamentos transparentes, a fim de que sejam difundidas e desenvolvidas estratégias enquanto se concretizam normas mais rígidas a esse respeito.

Os indicadores de eficiência da envoltória da HIS encontrados foram bastante baixos — em 14 dos 16 casos estudados, o desempenho foi inferior à média —, mas não foi possível visualizar nenhuma padronização de níveis conforme a ZB ou a orientação da edificação. A adaptação fictícia da capacidade térmica das paredes e a pintura da cobertura com tons mais claros a fim de atender aos pré-requisitos do regulamento elevaram os níveis da edificação, porém não suficientes para que qualquer dos casos atingisse nível superior a C.

Dentre os principais motivos para o desempenho reduzido se dá a baixa eficiência da sala/cozinha, que representa a maior parte da área avaliada. A proposta de sombreamento das janelas desse ambiente resultou em melhorias, na maior parte dos casos, somente quando considerado sombreamento completo, ou seja, com o uso de venezianas. Para as ZB 6 e 8, inclusive, foi possível atingir nível B para a sala/cozinha com a fachada principal orientada a

norte. Todavia, viu-se na análise do requisito de ventilação que essa alternativa de sombreamento não permite de fato a ventilação e a iluminação natural de forma paralela — e, de fato, não costuma ser utilizada em ambientes de estar, onde não é necessário o escurecimento total —, concluindo-se então que a definição da variável “somb” deve ser revisada.

Ao alterar o fator de ventilação das aberturas, utilizando-se janelas tipo camarão, houve crescimento pouco significativo na eficiência da envoltória, de forma que novamente nenhum caso estudado resultou em nível A ou B. Todavia, conseguiu-se atender a todos os pré-requisitos da envoltória do RTQ-R. Assim, outras modificações no projeto podem melhorar seu nível de eficiência sem estar limitada a C. Dentre as alterações propostas, estão o tamanho das aberturas, a alteração das janelas nas fachadas e outras modificações nos componentes construtivos (paredes e coberturas), que poderão ser desenvolvidas em estudos futuros.

Um item parcialmente concluído nessa pesquisa foi a situação do desempenho das edificações populares de MS. Como os projetos são normalmente semelhantes, desde as dimensões até os materiais dos fechamentos (incluindo aberturas), inferiu-se que as envoltórias das HIS do estado costumam ser de baixa eficiência. Em estudos posteriores, poderão ser analisados outros projetos a fim de determinar com mais precisão a real situação do desempenho termoenergético dessas habitações, contribuindo com a elaboração de projetos energeticamente mais eficientes.

Outro aspecto que poderá ser trazido em novas pesquisas é a análise desses requisitos estudados comparativamente aos apresentados em normativas internacionais ou de outros países, preferencialmente daqueles com climas semelhantes aos analisados. Por fim, a avaliação das edificações utilizando simulação computacional pode fornecer soluções para a aplicação de ventilação e iluminação natural de forma integrada.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA ESTADUAL DE HABITAÇÃO POPULAR DE MATO GROSSO DO SUL (AGEHAB). **Projeto do PMCMV 2 – Sub 50**. Campo Grande, MS. Adquirido: março, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575**: Desempenho de edificações. Rio de Janeiro, 2013.

BONIN, T.; PEZZUTO, C. C. **Medição da refletância e análise de sua influência nos materiais de cobertura**. In: XVIII Encontro de Iniciação Científica, 2013.

BRASIL. **Decreto nº 4.059, de 19 de dezembro de 2001**. Regulamenta a Lei nº 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. **Lex**: Diário Oficial da União, Brasília, 2001b. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/qualidade/>>. Acesso em: 24 de agosto de 2015

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Portaria nº 18, de 16 de janeiro de 2012**. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). Brasília, 2012.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Portaria nº 50, de 01 de fevereiro de 2013**. Requisitos de Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética de Edificações (RAC). Brasília, 2013.

BRASIL. Secretária de logística e tecnologia da informação do ministério do planejamento, orçamento e gestão. **Instrução Normativa N° 2, de 4 de junho de 2014**. Brasília, 2014. Disponível em: <<http://www.comprasgovernamentais.gov.br/paginas/instrucoes-normativas/instrucao-normativa-no-2-de-4-de-junho-de-2014r>>. Acesso em: 11 de agosto de 2015.

BUGES, N. L.; STUMPO, L. F. A.; PORTO, F. H. F. dos S.; LÓPEZ, V.; ANDREASI, W. A. **A eficiência energética de contêiner adaptado como residência nos diversos climas do Brasil.** In: XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2014. v. 1. p. 183-192.

CINTRA, M. S.; SUDBRACK, L. O.; AMORIM, C. N. D.; FERNANDES, J. T. **Influência do tipo de vidro na eficiência energética da envoltória.** In: III Congresso Brasileiro de Eficiência Energética, 2009, Belém. III Congresso Brasileiro de Eficiência Energética, 2009.

FRONTCZAK, M.; SCHIANVON, S.; GOINS, J.; ARENS, E.; ZHANG, H.; WARGOCKI, P. *Quantitative relationships between occupant satisfaction and satisfaction aspects of indoor environmental quality and building design.* *Indoor Air*, 2012; 22(2):119–31.

HWANG, T.; KIM, J. T. *Effects of indoor lighting on occupants' visual comfort and eye health in a green building.* *Indoor Built Environment*, 2011; 20(1):75–90.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. **Eficiência Energética na Arquitetura.** PW Gráficos e Editores Associados Ltda, 3ª edição, 2014.

MATOS, M. I. **O Código de Obras como Instrumento Regulatório de Eficiência Energética em Edificações Residenciais: proposições para o Município de São Paulo.** 275 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

MELO A., SORGATO M. E LAMBERTS R. *Building energy performance assessment: Comparison between ASHRAE standard 90.1 and Brazilian regulation.* **Energy and Buildings.** Elsevier, Fevereiro de 2014. Volume 70, p. 372 – 383.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. Departamento de Desenvolvimento Energético. **Plano Nacional de Eficiência Energética; Premissas e Diretrizes Básicas.** 2011. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/PlanoNacEfiEnergetica.pdf>> Acesso em: 11 de agosto de 2015.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. Norma Regulamentadora. **NR-17 – Ergonomia.** 2009.

MORISHITA, C.; SORGATO, M. J.; VERSAGE, R.; TRIANA, M. A.; MARINOSKI, D. L.; LAMBERTS, R. **Catálogo de propriedades térmicas de cobertura e paredes (v. 5).**

Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Universidade Federal de Santa Catarina, 2011. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/node/105>> Acesso em: 01 de agosto de 2016.

NEVES, L. de O.; RORIZ, M. **Procedimentos estimativos do potencial de uso de chaminés solares para promover a ventilação natural em edificações de baixa altura.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 177-192, jan./mar. 2012.

OLIVEIRA, E. H. de; KRIPKA, M.; LOREDO-SOUZA, A. M. **Estudo de parâmetros da ventilação natural para maximização do conforto térmico em pavilhões industriais: simulações numéricas.** Revista Eletrônica de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás – UFG. Goiânia, 2014.

OLIVEIRA, L. S.; SILVA, A. C. S. B. da; PINTO, M. M. **Definição das condições de contorno e critérios de avaliação de desempenho termo-energético de HIS.** In: 3º workshop da rede de pesquisa: uso racional da água e eficiência energética em habilitações de interesse social. Anais... Curitiba, 2012.

PAULO, P. L.; PAULO, M. L.; QUEIROZ, A. A. F. S. L. de; YASUNAKA, L. Y. **Perfil sócio-econômico dos beneficiários de programas de habitação de interesse social em Campo Grande – MS.** In: 3º workshop da rede de pesquisa: uso racional da água e eficiência energética em habilitações de interesse social. Anais... Curitiba, 2012.

PROCEL. Procel Info – Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética. **Eficiência energética em edificações.** Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/>>. Acesso em: 11 de agosto de 2015.

RAJA, I. A.; NICOL, J. F.; MCCARTNEY, K. J. **Natural ventilated buildings: use of control for changing indoor climate.** In: *Proceedings of the World Renewable Energy Congress*, Vol. V, Pergamon Press, Oxford, UK, 1998, pp. 391-394.

RAJA, I. A.; NICOL, J. F.; MCCARTNEY, K. J.; HUMPHREYS, M. A. **Thermal comfort: use of controls in naturally ventilated buildings.** *Energy and Buildings*, 2001.

RORIZ, M. **Uma proposta de revisão do Zoneamento Bioclimático Brasileiro**. ANTAC. São Carlos, 2012. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/projetos/proposta-de-revisao-do-zoneamento-bioclimatico-brasileiro>>. Acesso em: 14 de setembro de 2016.

RUPP, R. F. **Dimensionamento de área de janela em edificações comerciais: integração da iluminação natural com a artificial e utilização da ventilação híbrida**. 212 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Energia Civil da Universidade de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

SANTAMOURIS, M.; KOLOKOTSA, D. Passive cooling dissipation techniques for buildings and other structures: The state of the art. *Energy and Buildings*, 2013; 57:74-94.

SANTOS, A. dos; SILVA, J. S. G. da; SERBENA, H.; BRASCA, A.; GRABIAS, C. **Análise Dos Requisitos Do Usuário Para O Desenvolvimento De Um Sistema de Iluminação em Habitação de Interesse Social (HIS)**. Anais... Curitiba, 2012.

SCALCO, V. A.; FOSSATI, M.; VERSAGE, R. de S.; SORGATO, M. J.; LAMBERTS, R.; MORISHITA, C. **Innovations in the Brazilian regulations for energy efficiency of residential buildings**. *Architectural Science Reviews* 55:1, p. 71-81, 2012.

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**. XIV ENTAC, Juiz de Fora – MG, 2012.

SORGATO, M. J.; VERSAGE, R.; LAMBERTS, R. **Nota Técnica Nº 03/2011: A influência da área de ventilação no desempenho térmico de edificações residenciais**. Florianópolis, 2011. Disponível em: <www.labeee.ufsc.br/publicacoes/notas-tecnicas/>. Acesso em: 11 de agosto de 2015.

TILLER, D. K.; MUSSER, A.; WANG, L. M.; RADIK, M. J. **Combined effects of noise and temperature on human comfort and performance**. In: ASHRAE Transactions, v. 116 (parte 2), p. 522-540, 2010.

URBIKAIN, M. K.; SALA, J. M. **Analysis of different models to estimate energy savings related to windows in residential buildings**. *Energy and Buildings*, 2009; 41: 687-695.

VIEIRA, A. S.; BIGI, A. C.; BITTENCOURT, D. L.; GHISI, E.; FREITAS, M. N. de. **Identificação de estratégias para aumentar a eficiência energética de Habitações de Interesse Social localizadas na Grande Florianópolis: aplicação do RTQ-R.** In: 3º workshop da rede de pesquisa: uso racional da água e eficiência energética em habitações de interesse social. Anais... Curitiba, 2012.

YANG, L. I.; YAN, H.; LAM, J. C. *Thermal comfort and building energy consumption implications – A review.* *Applied Energy*, 2014; 115:164-73.

YAO, J. *An investigation into the impact of movable solar shades on energy, indoor thermal and visual comfort improvements.* *Building and Environment*, 2014; 71:24-32.

YAŞAR, Y.; KALFA, S. M. **The effects of window alternatives on energy efficiency and building economy in high-rise residential buildings in moderate to humid climates.** *Energy Conversion and Management*, 2012; 64:170-181.