XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Estratégias para Personalização em Massa e Eficiência Energética no PMCMV em ZB 8

Strategies for Mass Customization and Energy Efficiency in the PMCMV in ZB 8

Claudio Oliveira Morgado
UFRJ | Rio de Janeiro | Brasil | claudio.morgado@fau.ufrj.br
Luciana Maria Bonvino Figueiredo
UFRJ | Rio de Janeiro | Brasil | lucianafigueiredo@fau.ufrj.br
Gabriel Nunes Faria Barbosa Batista
UFRJ | Rio de Janeiro | Brasil | gabrielnfbb@gmail.com

Resumo

O meio acadêmico já demonstrou, em vários estudos, os níveis insatisfatórios de classificação de eficiência energética (E e D) dos edifícios multifamiliares produzidos pelo PMCMV. A dificuldade em atender os pré-requisitos regulamentados se relaciona diretamente aos princípios da Economia de Escala que atuam sobre as executoras envolvidas no PMCMV. Este trabalho apresenta uma proposta que busca coadunar um processo produtivo eficiente alcançado através dos elementos da economia de escala e, ao mesmo tempo, alcançar um grau satisfatório de eficiência energética em ZB 8, utilizando estratégias bioclimáticas adaptáveis ao local de implantação.

Palavras-chave: Personalização em massa. Eficiência energética. Habitação de Interesse Social. PMCMV.

Abstract

Academics have already demonstrated, in several studies, the unsatisfactory levels of energy efficiency ratings (E and D) of multifamily buildings produced by PMCMV. The difficulty in meeting the regulated prerequisites is directly related to the principles of Economy of Scale that act on the companies involved in PMCMV. This paper presents a proposal that seeks to coadunate an efficient production process achieved through the elements of economy of scale and, at the same time, achieve a satisfactory degree of energy efficiency in ZB 8, using bioclimatic strategies adaptable to the site of implementation.

Keywords: Mass customization. Energy efficiency. Low-cost housing. PMCMV

Como citar:
Morgado, C.; FIGUEIREDO, L.; BATISTA, G. Estratégias para personalização em massa e eficiência energética no PMCMV em ZB 8. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. XXX-XXX.

INTRODUÇÃO

Em 2009, no contexto de uma crise global e de instituição de medidas para conter a recessão econômica, o Governo Federal reorganizou o Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social (SNHIS) e a provisão de fundos destinados à habitação de interesse social com o lançamento do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV).

O PMCMV passou a concentrar e priorizar os recursos destinados à provisão de habitação social. A hegemonia do programa sobre toda a política nacional de habitação social que se seguiu, bem como as metas quantitativamente ambiciosas e, até então, inéditas [1], foram motivadas porque o PMCMV, apesar de apresentado como um programa de habitação com estratégias específicas de ação dentro do Sistema Nacional de Habitações de Interesse Social (SNHIS), foi alçado à condição de política pública. Mais ainda, este programa-política teve forte orientação de política de desenvolvimento econômico instrumentalizado através de subsídios e fortalecimento do setor de construção civil.

Ainda hoje, há críticas e ponderações de toda sorte a respeito do programa que, por mais que tenha alcançado feitos inéditos, apresenta falhas institucionais e de inserção urbana [2]; de desenho de política pública [3]; e de incentivos econômicos e qualidade da obra entregues aos beneficiários [4].

Apesar das questões apontadas sobre a baixa qualidade das Unidades Habitacionais (UHs), há, por parte das empresas responsáveis pela execução das obras, um esforço genuíno de controle do canteiro, acompanhamento da execução e redução de custos [2]. Estas se derivam do mesmo motivo que explica o desempenho pífio das unidades entregues: o programa trabalha sob uma ótica de economia de escala. O produto habitacional é, dentro do canteiro de obras dos empreendimentos do PMCMV, resultado de um processo industrial muito eficiente e controlado que, se por um lado, é capaz de entregar moradias a um custo muito reduzido, por outro, impossibilita adaptações satisfatórias ao clima local.

A ausência de cuidado com o desempenho energético das unidades habitacionais entregues pelo PMCMV é incompatível com a preocupação com a Sustentabilidade Ambiental indicada pelo próprio Programa. Mais grave ainda, para além da questão ambiental, os gastos domiciliares com energia elétrica dispendida com aparelhos de arrefecimento ativo podem fragilizar financeiramente os beneficiários, com impactos negativos em seu bem-estar [6], o que conflita também com os princípios de Sustentabilidade Social e Econômica salientados pelo Programa.

Desta forma, este trabalho se propõe a desenvolver uma proposta que coadune, em Zona Bioclimática 8, o processo produtivo eficiente, alcançado através dos elementos da economia de escala, com estratégias para alcançar um grau satisfatório de eficiência energética. O desenvolvimento das estratégias aqui apontadas se deu com vistas ao atendimento do método prescritivo do Regulamento Técnico de Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) [7]. Neste método a classificação da envoltória de uma Unidade Habitacional (UH) se dá a partir da classificação de cada um dos seus ambientes de permanência prolongada (APPs), isto é, das salas e quartos de cada UH.

Vale ressaltar que o método prescritivo do RTQ-R [7], que sofreu sua última revisão em 2012, já teve deficiências e inadequações identificadas em alguns estudos. Em vista disso, um novo método de avaliação de eficiência energética em edificações residenciais foi desenvolvido, baseado no consumo de energia primária. Este, denominado método simplificado da INI-R (Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais), compara a edificação em sua condição real com a mesma edificação com características de referência equivalentes à classificação C de eficiência energética.

A proposta aqui apresentada foi desenvolvida no âmbito do Trabalho Final de Graduação do terceiro autor sob orientação dos dois primeiros autores deste trabalho, no ano de 2020, ainda no período de vigência do RTQ-R [7].

RECORTE/ESCOPO DA PESQUISA

É importante ressaltar que este trabalho trata apenas do PMCMV. Atualmente, o programa foi extinto e substituído pelo Programa Casa Verde e Amarela (PCVA) [5]. Dentro da ZB 8, ainda, foi feito um recorte nos municípios pertencentes às regiões metropolitanas, em razão de 77,2%[1] das unidades entregues no âmbito do programa terem sido executas nestas regiões. Por fim, o trabalho se atém às edificações multifamiliares de quatro ou cinco pavimentos em razão da sua maior frequência entre os empreendimentos do Programa [8].

DESEMPRENHO ENERGÉTICO NO PMCMV

ECONOMIA DE ESCALAS

A Caixa Econômica Federal é a instituição responsável por fazer a gestão de risco do PMCMV e, neste âmbito, atua como um filtro sobre o porte das empresas habilitadas a participar da execução do programa, excluindo empresas menores, isto é, com reduzida capacidade organizacional e financeira [8]. Desta forma, há uma triagem entre as empresas que participam do programa (a partir de sua estrutura operacional) e, consequentemente, uma homogeneização dos empreendimentos executados, como afirma um dos representantes entrevistados no trabalho:

> *É uma estratégia da empresa. A gente troca rentabilidade, claro que um pouco, não dá pra ter uma margem tão baixa, mas a gente troca rentabilidade por liquidez, por girar o negócio. O que acontece é o seguinte: o custo é muito apertado, desses empreendimentos. O empreendimento é muito pequeno pelas regras do Programa, o apartamento em si. Então por mais que você tente aquilo ali, você acaba caindo... ah, você vai ter que ter dois quartos, um banheiro, uma sala e uma cozinha. Você não tem como mexer tanto. O problema é que a gente precisa de economia de escala, de produtividade, de padronização. E isso nos dá capacidade, possibilidade de viabilizar esses empreendimentos. Então se a gente começar a fazer cada prédio de um tipo é economicamente inviável. Então é preferível você ter uma construção mesmo que não tão bem desenvolvida nessa forma estética, com variações e tal, é preferível do que não ter é nada, o empreendimento não ser viável e você não conseguir fazer (Entrevista com representante de empresa). [8]*

[1] Dados de obtidos em abril de 2020 através da Lei de Acesso a Informação (Protocolos 99902.000670/2020-81; 99902.001073/2020-74), referentes aos empreendimentos entregues no âmbito do programa até a data imediatamente anterior aos Pedidos. Consolidação desses dados feita pelo autor, com base no site do SISHAB

Em geral, economias de escala estão relacionadas à vantagem produtiva que empresas obtêm em suas operações em função da grande quantidade de bens que produzem.

No âmbito da Faixa 1 do PMCMV, é possível identificar alguns procedimentos e escolhas projetuais correlatas à organização produtiva pensada sob o fundamento da economia de escalas. A produção simultânea de dois ou mais empreendimentos contíguos, totalizando em alguns casos 2000 unidades [9], por exemplo, é uma maneira de acrescer o volume produzido.

Não é só o engessamento do projeto que impede o atendimento aos valores limites de propriedades da envoltória estipulados pelo RTQ-R [7]. Algumas soluções construtivas amplamente adotadas no programa (como as paredes estruturais de concreto armado moldado *in loco*) também contribuem negativamente para esse baixo desempenho energético em função da sua elevada transmitância térmica.

A especialização produtiva para o emprego de técnicas como sistema de alvenaria estrutural em blocos de concreto, construção de paredes estruturais de concreto moldado *in loco* e emprego de estruturas refinadas de manejo e controle da produção [10] são escolhas de um desenho de processo produtivo com vistas à economia de escalas.

Vários autores [9] [10] [11] [12] [13] comentam a respeito do elevado grau de padronização dos projetos executados no âmbito do Programa e arrolam fundamentos econômicos, tais como a necessidade de redução de perdas, a celeridade das obras, e o emprego de tecnologia produtiva mais eficiente, como principais condicionantes da prática.

Com base no exposto, podemos inferir que os fundamentos econômicos da economia de escalas aplicados nos empreendimentos da Faixa 1 do PMCMV, apesar de terem viabilizado a execução de um número expressivo de Habitações de Interesse Social (HIS), guardam íntima relação com os resultados insatisfatórios obtidos por sucessivos estudos de eficiência energética realizados a respeito do Programa. Essa produção em massa de unidades habitacionais padronizadas inviabiliza decisões de projeto capazes de conferir resultados mais satisfatórios nas classificações de eficiência energética.

Este embate entre a intenção de compatibilizar o desenvolvimento do produto com as necessidades específicas distintas dos consumidores e com a estrutura rígida da produção em massa de bens, viabilizada pelo fenômeno da economia de escalas, não é exclusividade da indústria de construção civil. Um movimento similar foi observado a partir do final da década de 1980, inicialmente na indústria automotiva e de eletrônicos e, posteriormente, em outras cadeias de manufatura e prestação de serviços [14].

Naquela ocasião, como resposta à demanda dos consumidores, observou-se na indústria de eletrônicos, (Dell e IBM) e de automóveis (Toyota) um movimento chamado de Personalização em Massa [14]. Os produtos precisavam ser passíveis de adequação às necessidades específicas, isto é, precisavam ser personalizados. Porém eram entregues a preços semelhantes aos produtos disponíveis no mercado e, portanto, produzidos em massa sob um regime de economia de escala.

> *Personalização em Massa é a nova fronteira de negócios tanto para a indústria produtiva quanto para o setor de serviços. É fundamentalmente um acréscimo tremendo na variedade e nas opções de personalização, no entanto, livre de um*

acréscimo correspondente em custos. No limite, é a produção em massa de bens e serviços individualmente personalizados [14].

DESENVOLVIMENTO DA PROPOSTA

A proposta desenvolvida neste estudo se pautou em necessidades estabelecidas a partir dos seguintes aspectos:

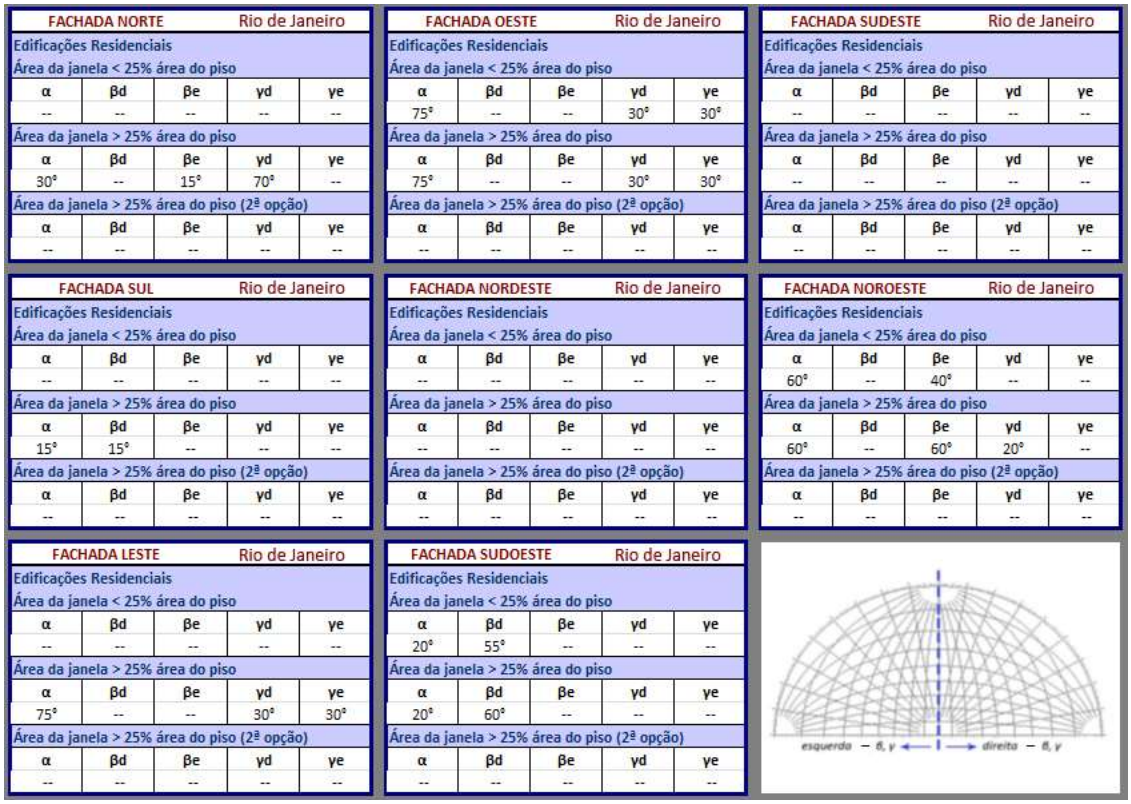
- resultados de classificação de eficiência encontrados em estudos publicados relativos ao PMCMV;
- entendimento dos parâmetros determinantes para os níveis de classificação de eficiência energética pelo método prescritivo do RTQ-R [7];
- diagnóstico dos problemas inerentes ao processo produtivo desenvolvido no âmbito do PMCMV e;
- análise qualitativa das decisões projetuais verificadas em empreendimentos do PMCMV.

A partir das exigências técnicas do PMCMV e dos pré-requisitos estabelecidos pelo RTQ-R [7] para a ZB 8, foram propostas inicialmente, dentro do possível, duas diretrizes para as envoltórias das UHs: a parede externa de cada APP deve ser a de menor dimensão; a ventilação cruzada das UHs deve se dar por fachadas opostas.

Foram identificadas algumas situações que suscitam necessidades específicas e, consequentemente, características personalizáveis da UH. A partir dos fundamentos da Personalização em Massa [15], as situações e necessidades específicas estão listadas a seguir:

- **Implantação:** As aberturas e paredes externas dos APPs, principalmente os quartos, devem ser voltadas, dentro das limitações impostas pelo terreno, para as orientações mais favoráveis (Sul ou Leste, já indicadas em outras pesquisas [11] [12]);
- **Elementos de proteção solar:** As aberturas dos APPs deverão contar com elementos de proteção solar de maneira a atender, ao menos parcialmente, aos ângulos de proteção (α, βe γ) recomendados para a localidade do empreendimento (a Figura 1, por exemplo, mostra a tabela para o município do Rio de Janeiro);
- **Arranjo formal:** o arranjo em planta das UHs e das circulações e acessos deverá ser flexível, de maneira a permitir a orientação mais favorável (Sul ou Leste) para as paredes externas e aberturas dos APPs, especialmente nos casos em que houver alguma limitação à implantação imposta pelo terreno;
- **Mitigação de situações desfavoráveis:** Em casos onde não se possa voltar as aberturas e paredes externas dos APPs para a orientação mais favorável em razão de alguma restrição imposta pelo terreno, ou, quando houver algum APP com mais de uma parede externa, deverá haver a adição de algum tipo de elemento ou componente de envoltória capaz de mitigar a implicação dessa situação desfavorável ao nível de desempenho deste ambiente.

Figura 1: Exemplo de tabela de ângulos de sombreamento recomendados



FACHADA NORTE	Rio de Janeiro			
Edificações Residenciais				
Área da janela < 25% área do piso				
α	βd	βe	γd	γe
--	--	--	--	--
Área da janela > 25% área do piso				
α	βd	βe	γd	γe
30°	--	15°	70°	--
Área da janela > 25% área do piso (2ª opção)				
α	βd	βe	γd	γe
--	--	--	--	--

FACHADA OESTE	Rio de Janeiro			
Edificações Residenciais				
Área da janela < 25% área do piso				
α	βd	βe	γd	γe
75°	--	--	30°	30°
Área da janela > 25% área do piso				
α	βd	βe	γd	γe
75°	--	--	30°	30°
Área da janela > 25% área do piso (2ª opção)				
α	βd	βe	γd	γe
--	--	--	--	--

FACHADA SUDESTE	Rio de Janeiro			
Edificações Residenciais				
Área da janela < 25% área do piso				
α	βd	βe	γd	γe
--	--	--	--	--
Área da janela > 25% área do piso				
α	βd	βe	γd	γe
--	--	--	--	--
Área da janela > 25% área do piso (2ª opção)				
α	βd	βe	γd	γe
--	--	--	--	--

FACHADA SUL	Rio de Janeiro			
Edificações Residenciais				
Área da janela < 25% área do piso				
α	βd	βe	γd	γe
--	--	--	--	--
Área da janela > 25% área do piso				
α	βd	βe	γd	γe
15°	15°	--	--	--
Área da janela > 25% área do piso (2ª opção)				
α	βd	βe	γd	γe
--	--	--	--	--

FACHADA NORDESTE	Rio de Janeiro			
Edificações Residenciais				
Área da janela < 25% área do piso				
α	βd	βe	γd	γe
--	--	--	--	--
Área da janela > 25% área do piso				
α	βd	βe	γd	γe
--	--	--	--	--
Área da janela > 25% área do piso (2ª opção)				
α	βd	βe	γd	γe
--	--	--	--	--

FACHADA NOROESTE	Rio de Janeiro			
Edificações Residenciais				
Área da janela < 25% área do piso				
α	βd	βe	γd	γe
60°	--	40°	--	--
Área da janela > 25% área do piso				
α	βd	βe	γd	γe
60°	--	60°	20°	--
Área da janela > 25% área do piso (2ª opção)				
α	βd	βe	γd	γe
--	--	--	--	--

FACHADA LESTE	Rio de Janeiro			
Edificações Residenciais				
Área da janela < 25% área do piso				
α	βd	βe	γd	γe
--	--	--	--	--
Área da janela > 25% área do piso				
α	βd	βe	γd	γe
75°	--	--	30°	30°
Área da janela > 25% área do piso (2ª opção)				
α	βd	βe	γd	γe
--	--	--	--	--

FACHADA SUDOESTE	Rio de Janeiro			
Edificações Residenciais				
Área da janela < 25% área do piso				
α	βd	βe	γd	γe
20°	55°	--	--	--
Área da janela > 25% área do piso				
α	βd	βe	γd	γe
20°	60°	--	--	--
Área da janela > 25% área do piso (2ª opção)				
α	βd	βe	γd	γe
--	--	--	--	--

Fonte: Manual do RTQ-R

SISTEMA CONSTRUTIVO

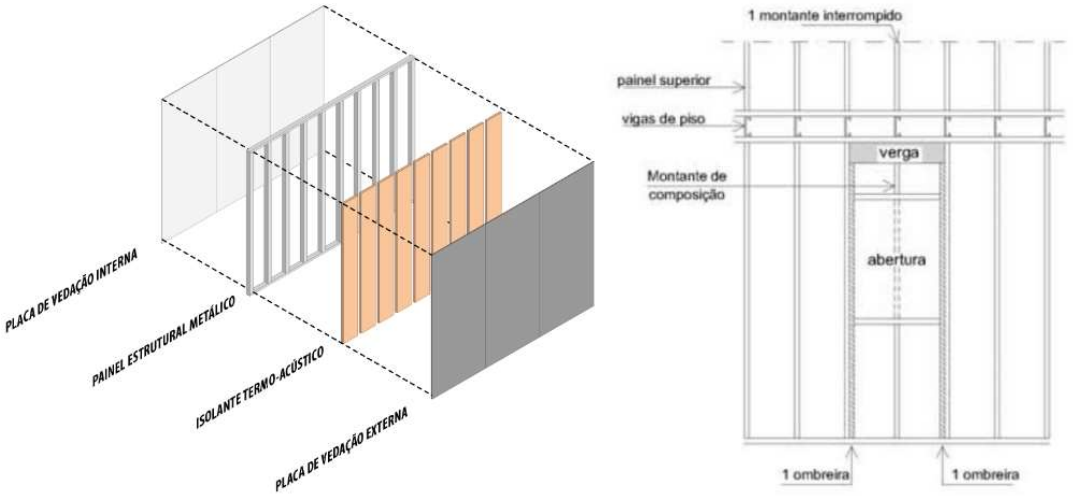
Este trabalho propôs um projeto desenvolvido em *Light Steel Framing*, sistema escolhido em razão da flexibilidade do projeto estrutural e por permitir produção industrial. O sistema é constituído pela montagem de painéis estruturais compostos por perfis delgados de aço formados a frio, sobre os quais são afixados os elementos de isolamento e vedação (Figura 2 à esquerda).

Para atender às propriedades termofísicas do sistema construtivo, foram indicados montantes com distância de 40 cm de eixo a eixo (Figura 2 à direita), revestimento externo em chapa OSB (2 cm), revestimento interno em chapa de gesso acartonado (2 cm) e isolante termoacústico (acessório) e câmara de ar.

CONCEITO DO PROJETO

Sob a lógica de *design* modular do produto, buscou-se consolidar o primeiro conjunto de especificações em um único módulo base, que foi denominado pelos autores de **Núcleo Duro Edificado** (Figura 3 à esquerda). O segundo conjunto de especificações, por sua vez, se trata de um grupo de acessórios com características específicas: tipologias de esquadrias, isolamentos térmicos e elementos de sombreamento. Este conjunto foi denominado de **Acessórios da Envoltória** (Figura 3 à direita).

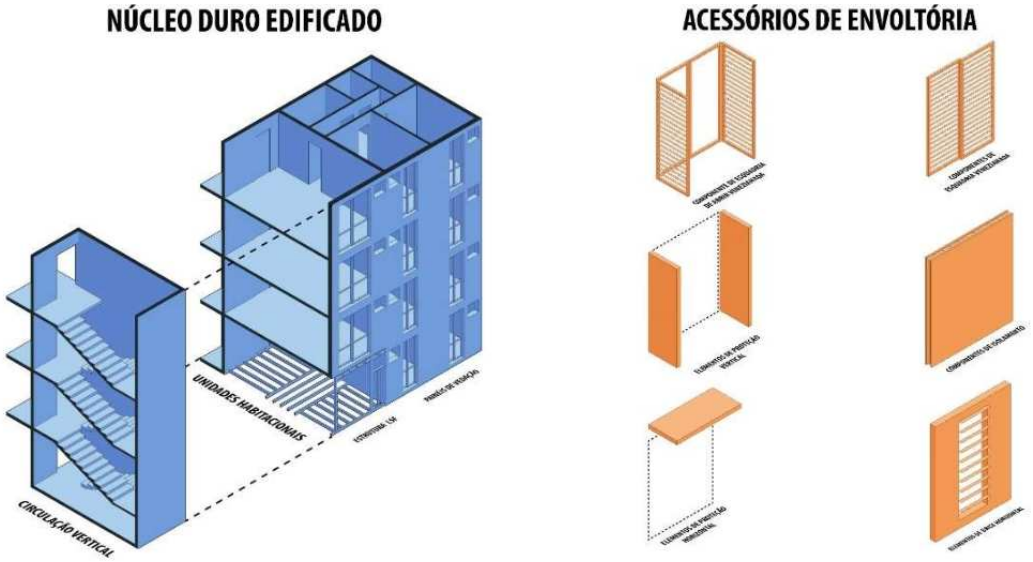
Figura 2: Esquema de montagem em Light Steel Framing



Fonte: Os autores

O projeto da edificação que resultou desse processo foi produto do arranjo do Núcleo Duro Edificado e de um subconjunto dos Acessórios da Envoltória que deverão ser definidos a partir da localidade e das especificidades do terreno onde se pretenderá implantar o empreendimento do PMCMV.

Figura 3: Desenho esquemático dos elementos do Núcleo Duro Edificado (à esquerda) e dos Acessórios de Envoltória (à direita).



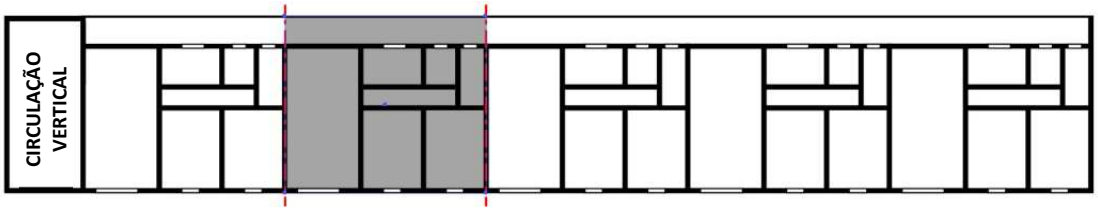
Fonte: Os autores

O Núcleo Duro Edificado é um módulo fundamental, comum a todas as variações do projeto. Em essência, se diferencia dos outros empreendimentos do PMCMV citados anteriormente apenas na observância dos pré-requisitos estabelecidos pelo método prescritivo do RTQ-R [7] e pelo que serão consideradas boas práticas envolvidas no processo de projeto.

ESPECIFICAÇÕES DO NÚCLEO DURO EDIFICADO

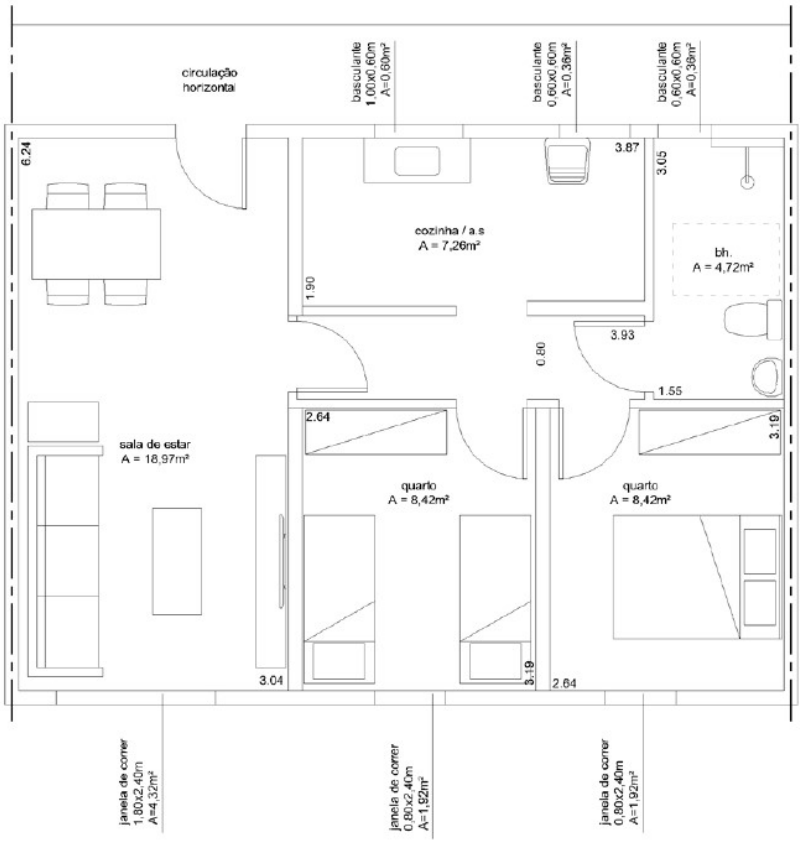
Considerando o conjunto “unidade habitacional - circulação horizontal” (Figura 4 na cor cinza) como uma unidade de modulação, o resultado do projeto é um edifício de planta linear, com as aberturas de cada APP voltadas a apenas uma fachada (preferencialmente Sul ou Leste), circulação periférica e prisma de circulação vertical locado de forma a proteger uma das fachadas laterais com menor dimensão do edifício, preferencialmente a mais desfavorável (Norte ou Oeste). A Figura 4 apresenta o esquema em planta do Núcleo Duro Edificado e a Figura 5 a planta baixa da UH.

Figura 4: Esquema em planta baixa de um pavimento do Núcleo Duro Edificado



Fonte: Os autores

Figura 5: Planta Baixa da UH e circulação horizontal



Fonte: Os autores

ESPECIFICAÇÕES DOS ACESSÓRIOS DE ENVOLTÓRIA

Buscando atender a necessidades específicas para um bom desempenho energético da envoltória, foram indicadas algumas especificações projetuais estratégicas.

Isolamentos térmicos

Foram propostas três opções de isolamentos térmicos. Para cada uma dessas opções, as paredes externas obtiveram valores de transmitância térmica (U) e capacidade térmica (CT) poderiam ser escolhidas em função da orientação e da absortância solar da fachada:

- Manta de lã de vidro com 5 cm de espessura: U = 1,82 W/m²K; CT = 37,35 kJ/m²K
- Manta de lã de vidro com 10 cm de espessura: U = 1,59 W/m²K; CT = 37,85 kJ/m²K
- Manta de lã de vidro com 15 cm de espessura: U = 1,48 W/m²K ; CT = 38,37 kJ/m²K

O prisma de circulação vertical deve ser usado como meio para mitigar a exposição de uma das fachadas laterais do edifício. Se o edifício for implantado com o eixo longitudinal Leste-Oeste a circulação vertical deve ser alocada na extremidade Oeste. Dessa forma, a fachada lateral do quarto da UH da extremidade oposta ficará orientada a Leste. Se o edifício for implantado com o eixo longitudinal alinhado no sentido Norte-Sul, o prisma de circulação vertical deve ser alocado na extremidade Norte, com o quarto da UH da extremidade oposta orientado a Sul.

Seguindo apenas essas diretrizes já foi possível garantir níveis de classificação de envoltória não inferiores a C em todas os APPs, com exceção das salas das UHs e do quarto da UH da extremidade, que obtiveram classificação D.

Elementos de sombreamento

Foram estudados os elementos de sombreamento constantes do conjunto de Acessórios da Envoltória (Figura 3 à direita). Em algumas orientações de fachada, a utilização de muitos desses elementos de proteção solar não se mostrou eficiente. Apenas as esquadrias com venezianas, que possibilitam o sombreamento total da abertura (parâmetro SOMB = 1 do RTQ-R), se mostraram realmente eficientes para elevar a classificação das UHs. Recomenda-se que essa tipologia, apesar da sua maior complexidade executiva e de seu maior custo, seja executada sempre que a UH obtiver classificação inferior a C.

Tipologias das esquadrias

Com relação às aberturas dos APPs, em razão do arranjo estrutural dos painéis (Figura 2 à direita), foram definidas esquadrias verticais, atendendo às áreas mínimas abertura de ventilação e às relações entre as áreas de ventilação cruzada das UHs, estipuladas pelo RTQ-R (Tabela 1).

A opção por esquadrias de abrir, com maior percentual de abertura de ventilação (parâmetro Fvent=1), se mostrou mais eficiente do que as de correr, que só permitem abrir pouco menos da metade de sua área (parâmetro Fvent=0,45).

Como mostra o Quadro 1, os resultados obtidos em graus-hora de resfriamento (GHR)[2] quando são empregadas esquadrias com maiores áreas de ventilação (esquadrias de abrir) são significativamente melhores do que os observados para as esquadrias de correr. Em todos os testes realizados no decorrer deste trabalho, esta configuração foi a única capaz de

[2] O parâmetro grau-hora de resfriamento (GHR) é o somatório da diferença entre a temperatura operativa horária e a temperatura de base, quando a primeira está acima da temperatura de base [7].

alcançar nível de classificação A em algum APP; mesmo assim, apenas nos quartos das unidades térreas (na cor verde escuro).

Tabela 1 – Verificação da conformidade aos pré-requisitos de ventilação do RTQ-R

Ambiente	Área em Planta (m²)	Esquadria (m)	Tipo de esquadria	Fvent	Ventilação efetiva (m²)	% da área de piso
Sala de Estar	18,97	1,80 x 2,40 (4,32 m²)	2 folhas de correr	0,45	1,94	10,02
Quarto 01	8,42	0,80 x 2,40 (1,92m²)	2 folhas de correr	0,45	0,86	10,02
Quarto 02	8,42	0,80 x 2,40 (1,92m²)	2 folhas de correr	0,45	0,86	10,02
Cozinha e A.S	7.26	1,00 x 0,60 (0,60 m²)	Basculante 45°	0,70	0,42	–
Banheiro	4,72	0,60 x 0,60 (0,36 m²)	Basculante 45°	0,70	0,25	–

Fonte: Os autores

O Quadro 1 também mostra que níveis de classificação C foram obtidos apenas nas unidades de cobertura (em amarelo). Verificou-se a tendência de unidades de extremidade voltadas a Leste obterem valores superiores aos encontrados nas unidades de extremidade com fachadas principais voltadas a Sul.

Quadro 1: Resultado dos níveis de classificação de envoltória de unidades centrais e de extremidade

Orientação	Pavimento	APP	Centrais		Extremidade	
			Fvent=0,45	Fvent=1	Fvent=0,45	Fvent=1
Sul	Térreo	Sala	7166	6519		
		Quarto	5595	4802	7043	7055
	Interm.	Sala	8238	7591		
		Quarto	6464	5670	7912	7118
	Cobert.	Sala	9390	8743		
		Quarto	7269	6476	8717	7924
Leste	Térreo	Sala	6902	6217		
		Quarto	5597	5191	6574	5768
	Interm.	Sala	7974	7289		
		Quarto	6865	6059	7443	6637
	Cobert.	Sala	9126	8442		
		Quarto	7670	6864	8248	7442

Fonte: Os autores

CONSOLIDAÇÃO DOS RESULTADOS

Após a aplicação dos parâmetros decorrentes dos conjuntos de acessórios da envoltória, uma análise dos resultados obtidos apontou que o parâmetro transmitância térmica, decorrente do uso dos isolamentos térmicos, mostrou-se irrelevante na aplicação do método prescritivo do RTQ-R [7] e, por isso, pode ser descartado como estratégia neste estudo. Assim, os valores de transmitância térmica das paredes externas e da cobertura precisam atender apenas aos pré-requisitos mínimos indicados no método.

O uso de *brises soleils* nas aberturas resultou em uma pequena melhoria dos níveis de classificação de envoltória dos APPs (Nível C) quando comparados aos casos já estudados nos projetos do PMCMV. Foram verificadas, no entanto, algumas limitações de melhoria de resultados nos pavimentos de cobertura (Nível D).

O emprego de venezianas externas integradas às esquadrias (parâmetro SOMB = 1), com o incremento da ventilação efetiva obtida com esquadrias de abrir (parâmetro Fvent = 1), se mostrou a melhor estratégia na otimização da eficiência energética. Nesses casos, o menor nível de classificação de envoltória foi C, e apenas nas salas das unidades de cobertura. Todos os demais APPs obtiveram nível de classificação B, sendo que os quartos das unidades térreas obtiveram nível de classificação A. Porém, quando ponderados os resultados das classificações dos APPs para as UHs, todas as unidades atingiram nível de classificação de envoltória B.

Também se verificou que, de uma forma geral, os ganhos resultantes do emprego dos acessórios de envoltória foram mais relevantes nas unidades centrais quando comparados às unidades de extremidade e maiores nas unidades com fachada principal voltada a Sul quando comparados às unidades com fachada principal voltada a Leste (Quadro 1).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O resultado mais singular verificado neste estudo foi o baixo impacto da redução de transmitância térmica de paredes externas e de cobertura na classificação de eficiência energética da envoltória dos APPs e das UHs quando avaliados pelo método prescritivo do RTQ-R [7].

Assim como verificado em outros textos [11] [12], a opção por esquadrias que possibilitem, tanto ventilação quanto sombreamento total das aberturas (parâmetros Fvent = 1 e SOMB = 1, respectivamente) apresentou-se como a estratégia mais relevante deste método, gerando nível de classificação B para todas as APPS, a exceção do pavimento de cobertura, onde as salas de todas as unidades e o quarto da unidade de extremidade obtiveram classificação C.

Em relação à viabilidade econômica das soluções apresentadas, este estudo optou por restringir-se às boas práticas relativas ao emprego de materiais construtivos e à proposta de concepção estrutural. A estimativa de custo final das soluções projetuais e do processo produtivo foi considerada além do escopo desse trabalho. Entretanto, embora os resultados deste estudo tenham se mostrado promissores para a aplicação do paradigma da Personalização em Massa em empreendimentos de Habitação de Interesse Social, mais pesquisas ainda são necessárias para a devida avaliação da adequação deste processo produtivo à política pública de habitação.

Uma possibilidade de estudo futuro que se vislumbra a partir desta proposta é a comparação dos resultados aqui obtidos pelo método prescritivo do RTQ-R [7] com novas avaliações de classificação realizadas a partir dos fundamentos do método simplificado da INI-R.

REFERÊNCIAS

[1] KRAUSE, Cleandro; BALBIM, Renato; NETO, Vicente Correia Lima. **Minha Casa Minha Vida, Nosso Crescimento: Onde fica política habitacional?** Texto para discussão, 2013. Disponível em <https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=19472> Acesso em: 04 de abril de 2020.

[2] CARVALHO, C. S. A. de; SHIMBO, L. Z.; RUFINO, M. B. C. **Minha Casa... e a Cidade? Avaliação do programa minha casa minha vida em seis estados brasileiros.** [S.l: s.n.], 2015.Disponível em:

<https://www.ufmg.br/online/arquivos/anexos/livro%20PDF.pdf> Acesso em: 30 de março de 2020.

[3] MOREIRA, V.; EUCLYDES, F.; MARTINS, A. **Minha Casa, Minha Vida em números: Quais conclusões podemos extrair?** In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA, 6, 2017, João Pessoa. Disponível em <https://www.ufpb.br/ebap/contents/documentos/0594-613-minha-casa.pdf> Acesso em: 29 de março de 2020.

[4] FERREIRA, João Sette Whitaker (org.). **Produzir casas ou construir cidades. Desafios para um novo Brasil urbano.** São Paulo: FUPAM, 2012

[5] BRASIL. Lei nº 14.118, de 12 de janeiro de 2021.Institui o Programa Casa Verde e Amarela. **Diário Oficial da União:** seção 1, Brasília, DF, p. 1-5, 12 jan. 2021.

[6] RODRIGUES, T.; OLIVEIRA, C. de; CARLO, J. Níveis de eficiência da envoltória de unidades habitacionais do Programa Minha Casa Minha Vida em Zonas Bioclimáticas de 5 A 8. In: **Anais do XIII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e X Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído**, Campinas, 2015.

[7] BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais**. Brasília, 2012.

[8] CARDOSO, A. L.; LAGO, L. C. (org). **Avaliação Do Programa Minha Casa Minha Vida Na Região Metropolitana Do Rio De Janeiro: impactos urbanos e sociais.** [S.l: s.n.], 2015. Disponível em: <https://www.observatoriodasmetropoles.net.br/avaliacao-do-mcmv-no-rio-de-janeiro-impactos-urbanos-e-sociais/> Acesso em 02 de março de 2021.

[9] VASQUEZ, E. M. A. **Análise do conforto ambiental em projetos de habitações de interesse social segundo a NBR 15.575:2013**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental), PUC. Rio de Janeiro, 2017.

[10] SHIMBO, L. Empresas construtoras, capital financeiro e a constituição da habitação social de mercado In: MENDONÇA, Jupira Gomes de; COSTA, Heloísa S. de Moura (org.) **Estado e Capital Imobiliário: Convergências atuais na produção do espaço urbano brasileiro**. Belo Horizonte: C/ Arte, 2011.

[11] BRASILEIRO, Alice; MORGADO, Claudio O.; LUZ, Carolina. Conjunto do PMCMV no RJ: razões da (in)eficiência energética no decorrer de sua vida útil. In: **Anais do XIV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e X Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído**. p.1318-1327. Balneário Camboriú: UNIVALI, 2017.

[12] BRASILEIRO, Alice; MORGADO, Claudio; ALMEIDA, Tatiane. Elementos projetuais para elevação da classificação do nível de eficiência energética em conjuntos habitacionais do PMCMV no Rio de Janeiro. In: **Anais do Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2016**. Porto Alegre: ANTAC, 2016.

[13] TRIANA, M. A.; LAMBERTS, R.; SASSI, P. Characterisation of representative Building typologies for social housing projects in Brazil and its energy performance. **Energy Policy**, V. 87, p. 524-541, 2015.

[14] PINE, B.; VICTOR, B.; BOYTON, A. Making mass customization work. **Harvard Business Review**. Boston, v. 71, 1993.

[15] TAUBE, J.; HIROTA, E. Customização em massa no processo de provisão de Habitações de Interesse Social: um estudo de caso. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 4, p. 253-268. 2017.

[16] NOGUEIRA, Carina; SAFFARO, Fernanda; GUADANHIM, Sidnei. Diretrizes de projeto para a redução de perdas na produção de Habitações de Interesse Social customizadas com painéis pré-fabricados em sistemas de construção a seco. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 67-89, jan./mar. 2018.