Industrialização, Digitalização, Desempenho

5º Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção e 5º Workshop de Tecnologia de Processos e Sistemas Construtivos

FLORIANÓPOLIS-SC | 20 a 22 de agosto

COORDENAÇÃO MODULAR NA ALVENARIA ESTRUTURAL: INTERFERÊNCIAS DIMENSIONAIS NA INTERFACE COM ESQUADRIAS

Modular Coordination in Structural Masonry: Dimensional Interferences at the Interface with Window and Door Frames

Fernanda Marcelino Nunes, Engenheira Civil
Universidade do Extremo Sul Catarinense | Criciúma, SC | fernandamarcelinon@gmail.com

Ana Paula Margarido, Dra.
Centro Cerâmico do Brasil | Santa Gertrudes, SP | anapaula@ccb.org.br

Elaine Guglielmi Pavei Antunes, Dra.
Universidade Federal de São Carlos | São Carlos, SP | Centro Cerâmico do Brasil | Santa Gertrudes, SP | eelainegpa@gmail.com

Guilherme Aris Parsekian, Dr.
Universidade Federal de São Carlos | São Carlos, SP | parsekian@ufscar.br

RESUMO

A compatibilidade dimensional entre os vãos projetados na alvenaria estrutural e os componentes padronizados disponíveis no mercado, como as esquadrias de ciclo aberto, constitui um desafio recorrente para a aplicação plena da coordenação modular em edificações de habitação de interesse social. Este artigo tem como objetivo analisar as interferências dimensionais entre os vãos modulados e as esquadrias comercializadas, tomando como base um projeto modelo desenvolvido segundo os princípios da ABNT NBR 15873:2024. O método adotado consistiu no desenvolvimento de um edifício multifamiliar com tipologia repetitiva, cujos vãos foram definidos com base na malha modular e nas exigências normativas de ventilação e iluminação natural. Em seguida, essas medidas ideais foram comparadas com as dimensões padronizadas de esquadrias obtidas em catálogos técnicos de fabricantes nacionais vinculados a Programas Setoriais da Qualidade (PSQ). Os resultados demonstraram recorrentes incompatibilidades, especialmente nas tipologias de janelas de correr e portas-janelas, indicando que a oferta de mercado ainda não está plenamente alinhada às exigências projetuais baseadas na coordenação modular. Conclui-se que a integração entre agentes da cadeia produtiva e a padronização efetiva das esquadrias são etapas fundamentais para ampliar a racionalização e a eficiência no sistema construtivo da alvenaria estrutural.

Palavras-chave: construção industrializada de ciclo aberto; conectividade na construção civil; projeto arquitetônico modular; compatibilidade dimensional; medidas de ajuste.

ABSTRACT

The lack of dimensional compatibility between modular openings in structural masonry walls and standardized open-cycle window and door frames remains a critical constraint to the effective implementation of modular coordination in low-income housing projects. This study aims to assess the dimensional mismatches between modularly designed openings and the frame products commercially available in the Brazilian market. A model multifamily housing project was developed based on the modular coordination principles outlined in ABNT NBR 15873:2024, using a 10 cm basic module and complying with national standards for natural lighting and ventilation. Ideal opening dimensions were derived from the modular grid and subsequently compared with preferred frame sizes provided by manufacturers accredited in Sectoral Quality Programs. The comparative analysis revealed frequent incompatibilities, particularly in sliding windows and door-windows, where market options failed to meet modular dimensional requirements. These inconsistencies may hinder rationalization, impair construction efficiency, and limit component interchangeability. The findings reinforce the importance of aligning design practices with industrial supply and suggest that effective standardization of frame dimensions—alongside better integration among designers, manufacturers, and regulatory bodies—is essential to support the broader adoption of modular coordination in structural masonry construction systems.

Keywords: *open-cycle industrialized construction; connectivity in civil construction; modular architectural design; dimensional compatibility; adjustment measures.*

[1]NUNES et al., Coordenação Modular na Alvenaria Estrutural: Interferências Dimensionais na Interface com Esquadrias. In: V WORKSHOP DE TECNOLOGIA DE PROCESSOS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS, 2025, Florianópolis. **Anais [...].** Porto Alegre: ANTAC, 2025.

1 INTRODUÇÃO

A construção civil desempenha papel estratégico no desenvolvimento socioeconômico de países emergentes, como o Brasil, sendo responsável por uma parcela expressiva do Produto Interno Bruto (PIB) e da geração de empregos diretos e indiretos. Em 2024, a construção civil apresentou um crescimento de 4,3%, alcançando R$ 359,5 bilhões. Esse desempenho foi impulsionado pelo aquecimento do mercado de trabalho, aumento das obras e a retomada do programa Minha Casa, Minha Vida. Além disso, o setor gerou 110.921 novos empregos formais, totalizando 2,858 milhões de trabalhadores com carteira assinada, um aumento de 4,04% em relação a 2023. Esses números reforçam a importância da construção civil na geração de renda e dinamização da economia brasileira (VALOR ECONÔMICO, 2025). Internacionalmente, diversos estudos destacam o potencial transformador da construção civil quando articulada a práticas de padronização, pré-fabricação e digitalização dos processos (FELDMANN et al., 2022; HWANG et al., 2023). No entanto, o setor ainda enfrenta desafios históricos relacionados à baixa produtividade, à perda de materiais e à baixa conectividade entre os sistemas construtivos (BARBOZA et al., 2011). No contexto da habitação de interesse social (HIS), onde há forte demanda quantitativa associada a limitações orçamentárias, a busca por eficiência produtiva, redução de custos e melhoria da qualidade das edificações tem impulsionado a adoção de sistemas construtivos industrializados. Entre esses, a alvenaria estrutural tem ganhado destaque por sua capacidade de integrar estrutura e vedação, racionalizar etapas construtivas, reduzir perdas e conferir maior previsibilidade ao processo de produção (BARBOZA et al., 2011).

Nesse contexto, a alvenaria estrutural, quando combinada a princípios de padronização dimensional, potencializa os ganhos associados à industrialização. Nesse sentido, a coordenação modular torna-se elemento-chave para a efetividade do sistema. Concebida como uma ferramenta de compatibilização entre os diferentes componentes da edificação, a coordenação modular é regida no Brasil pela ABNT NBR 15873:2024, que define o módulo básico de 100 mm como referência para a concepção dos elementos. A proposta é que todos os componentes da construção — alvenarias, vedações, instalações, revestimentos, esquadrias, entre outros — estejam organizados em uma malha tridimensional comum, de modo a assegurar intercambialidade, precisão e eficiência produtiva (CBIC, 2017; GREVEN; BALDAUF, 2007). No contexto internacional, a coordenação modular tem sido amplamente empregada como estratégia para integrar arquitetura e engenharia, promovendo a compatibilidade entre componentes padronizados e a racionalização dos processos construtivos por meio da industrialização e da pré-fabricação (SINGH et al., 2015; HWANG et al., 2023; GREVEN; BALDAUF, 2007). No Brasil, estudos como os de Barboza et al. (2011), Zucchetti et al. (2011), Moch (2009) e Grabarz (2013) demonstram que a adoção da coordenação modular é fundamental para a racionalização do processo construtivo com alvenaria estrutural, especialmente em empreendimentos habitacionais de interesse social. A autora ressalta que a ausência de padrões modulares nas esquadrias — em especial nas portas — compromete a intercambialidade e impõe soluções improvisadas que vão de encontro à lógica da padronização e da industrialização construtiva (GRABARZ, 2013). A aplicação de componentes padronizados e pré-fabricados, articulados desde o projeto, contribui para minimizar manifestações patológicas, otimizar a produção e facilitar a compatibilização entre sistemas. Em âmbito internacional, a integração entre coordenação modular e ferramentas BIM (*Building Information Modeling*) tem se mostrado promissora na melhoria da eficiência do projeto e da montagem de elementos construtivos (SINGH et al., 2015; HWANG et al., 2023).

Embora amplamente fundamentada em normas técnicas e literatura especializada, a aplicação da coordenação modular no contexto brasileiro ainda apresenta limitações significativas em sua prática. Estudos revelam que, na maioria dos empreendimentos, os princípios de modulação permanecem restritos às dimensões dos blocos de alvenaria, sem articulação efetiva com os demais subsistemas, como esquadrias, instalações e revestimentos (LUCINI, 2001; MOCH, 2009; MONTEIRO, 2011). Essa fragmentação compromete a intercambialidade entre elementos, favorece adaptações improvisadas em obra e limita os ganhos produtivos esperados pela racionalização. Segundo Romcy et al. (2014), a transformação de parâmetros modulares em objetos digitais pode ampliar a compatibilidade entre os sistemas e promover maior integração entre arquitetura e engenharia. Em nível internacional, autores como Banihashemi et al. (2018), Lim et al. (2022) e Tehrani et al. (2025) demonstram que a adoção de workflows integrados com uso de BIM, coordenação modular e modelagem paramétrica representa uma estratégia eficaz para antecipar conflitos, reduzir perdas e aprimorar a interface entre projeto, fabricação e montagem.

Segundo o Guia de Esquadrias para Edificações (CBIC; 2017), a ausência de diálogo entre projetistas e fabricantes e a inexistência de medidas preferenciais unificadas para esquadrias de ciclo aberto contribuem para a recorrência de ajustes improvisados. No plano internacional, diversos estudos indicam que a efetiva

compatibilização entre sistemas construtivos industrializados depende do alinhamento entre projeto, fabricação e montagem, exigindo uma abordagem integrada desde as etapas iniciais de concepção da edificação. A adoção de ferramentas como o BIM, combinadas a fluxos de trabalho baseados em coordenação modular e automação paramétrica, tem demonstrado resultados promissores na redução de conflitos de projeto e de desperdícios (BANIHASHEMI et al., 2018; LIM et al., 2022; TEHRANI et al., 2025).

A compatibilização entre a modulação e os sistemas de esquadrias é reconhecida como elemento crítico para assegurar o desempenho técnico das edificações. Estudos demonstram que falhas de integração entre vedação e estrutura comprometem diretamente aspectos como estanqueidade, desempenho térmico e durabilidade da edificação (MOCH, 2009; ASTORQUI et al., 2022). No contexto da construção modular, a definição precisa das interfaces entre subsistemas é fundamental para garantir a continuidade do envelope e evitar retrabalhos ou soluções improvisadas (ROMCY et al., 2014; BANIHASHEMI et al., 2018). A adoção de metodologias baseadas em BIM tem se mostrado eficaz na antecipação de conflitos dimensionais e na compatibilização entre arquitetura e engenharia, ao permitir a incorporação de parâmetros de modulação em objetos inteligentes e a automação de processos de verificação (TEHRANI et al., 2025; LIM et al., 2022). No contexto latino-americano, os desafios relacionados à ausência de padronização entre os fabricantes de componentes industrializados limitam a aplicação plena dos princípios da coordenação modular, especialmente em empreendimentos habitacionais com alta repetitividade (MONTEIRO, 2011; ROMCY et al., 2014).

No Brasil, estudos como os de Lucini (2001), Moch (2009) e o Guia de Esquadrias da CBIC (2017) apresentam critérios para a compatibilidade entre vãos modulados e esquadrias padronizadas, com base na ABNT NBR 15873:2024 e nas especificações de fabricantes vinculados aos Programas Setoriais da Qualidade (PSQ). Esses referenciais destacam a importância da definição de medidas preferenciais, da padronização das folgas e da articulação entre projeto e produção como estratégias fundamentais para garantir a racionalização e evitar adaptações em obra. Os autores identificam que, em boa parte dos casos analisados, há necessidade de ajustes nos vãos ou de peças complementares, comprometendo a racionalização pretendida. Autores como Moch (2009) e Romcy et al. (2014) apontam que a ausência de padronização entre os fabricantes inviabiliza a intercambialidade dos componentes e dificulta a adoção plena de práticas projetuais moduladas. A incompatibilidade entre elementos, especialmente entre esquadrias e alvenarias, compromete o desempenho de vedação, gerando falhas recorrentes de estanqueidade e afetando a durabilidade das edificações (ASTORQUI et al., 2022). Além disso, o Guia de Esquadrias (CBIC, 2017) ressalta que a falta de alinhamento entre projetistas, fornecedores e fabricantes contribui para o uso de soluções improvisadas em obra, contrariando os princípios da coordenação modular e prejudicando a racionalização do processo construtivo.

A compatibilização entre a modulação da alvenaria estrutural e as esquadrias demanda abordagens projetuais integradas, normatização mais precisa e maior articulação entre projetistas, fabricantes e fornecedores. Diante desse contexto, este artigo tem como objetivo avaliar a compatibilidade dimensional entre vãos modulados e esquadrias de ciclo aberto em alvenaria estrutural com blocos de concreto da família 14 cm, empregada em habitações de interesse social. Para isso, desenvolveu-se um projeto modelo baseado nos princípios da coordenação modular, cujos vãos foram comparados às dimensões padronizadas de esquadrias homologadas por Programas Setoriais da Qualidade (PSQ), a fim de identificar os principais pontos de incompatibilidade, as soluções projetuais adotadas e os impactos sobre o desempenho técnico e a racionalização do sistema construtivo.

2 METODOLOGIA

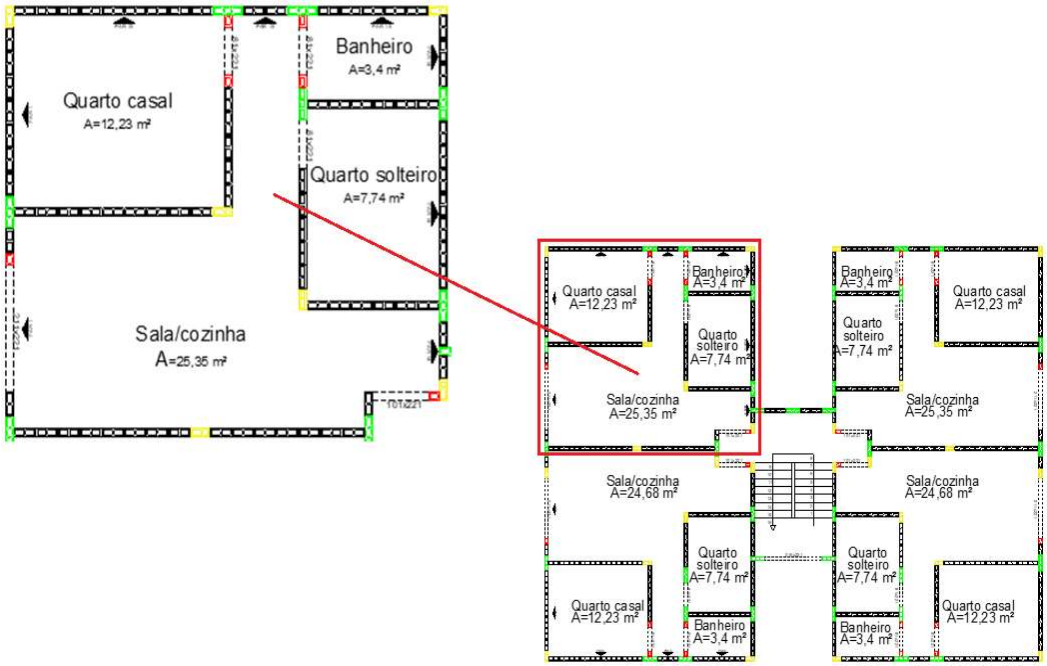
A presente pesquisa adota uma abordagem qualitativa de natureza aplicada, voltada à análise da compatibilidade dimensional entre a modulação da alvenaria estrutural e as esquadrias de ciclo aberto no contexto da habitação de interesse social. O estudo foi desenvolvido em três etapas principais, articulando levantamento bibliográfico, elaboração de projeto modelo e avaliação técnico-dimensional dos vãos e esquadrias, conforme detalhado a seguir.

A primeira etapa consistiu em um estudo bibliográfico, abrangendo obras acadêmicas, normas técnicas, artigos científicos e publicações setoriais sobre coordenação modular, alvenaria estrutural, racionalização dos processos construtivos, esquadrias e compatibilização de sistemas. A análise contemplou tanto referências nacionais quanto internacionais, com destaque para os trabalhos de Greven e Baldauf (2007), Grabarz (2013), Lucini (2001), Moch (2009), Romcy et al. (2014), Banihashemi et al. (2018), Lim et al. (2022), Tehrani et al. (2025) e para o Guia de Esquadrias para Edificações (CBIC, 2017). Essa etapa teve como objetivo consolidar

a base conceitual necessária à compreensão dos princípios da coordenação modular e dos parâmetros técnicos associados à interface esquadria–alvenaria, bem como identificar lacunas que afetam a racionalização do sistema construtivo.

Na segunda etapa, procedeu-se ao desenvolvimento de um projeto modelo de habitação de interesse social, com base nas diretrizes da coordenação modular e nos princípios da alvenaria estrutural racionalizada. Para tal, foi adotada a família de blocos de concreto com largura de 14 cm, amplamente utilizada em sistemas de alvenaria estrutural no Brasil. Essa família contempla diferentes blocos modulares, cujas dimensões (largura × altura × comprimento) são: 14 cm × 19 cm × 39 cm, 14 cm × 19 cm × 34 cm, 14 cm × 19 cm × 29 cm e 14 cm × 19 cm × 54 cm. A escolha por essa tipologia se deu em função do seu desempenho técnico e da ampla disponibilidade comercial no mercado nacional, assegurando representatividade e aplicabilidade aos resultados obtidos na pesquisa. A tipologia selecionada para o projeto refere-se a um edifício multifamiliar de três pavimentos, com quatro unidades habitacionais por andar, totalizando doze unidades. A Figura 1 apresenta a planta baixa do projeto modelo desenvolvido.

Figura 1: Planta baixa da unidade habitacional do projeto modelo.



Fonte: Autores

A escolha por essa configuração deve-se à sua recorrência em programas habitacionais de larga escala e à sua compatibilidade com a execução em blocos estruturais de concreto. O projeto foi elaborado conforme os parâmetros conforme estabelece a Lei nº 7.609/2019 do município de Criciúma (CRICIÚMA, 2023) - Código de Obras do município de Criciúma (SC), e os ambientes internos foram dimensionados com base nos critérios da ABNT NBR 15575-1:2024, que estabelece os requisitos mínimos de funcionalidade e desempenho para edificações habitacionais.

Para o dimensionamento dos vãos de esquadrias, aplicou-se o módulo básico de 10 cm, conforme estabelece a ABNT NBR 15873:2024, respeitando-se a malha modular ao longo de todo o desenvolvimento do projeto. Com base nos princípios da modulação, foram definidos os vãos de janelas e portas de acordo com as exigências normativas e legais relacionadas à ventilação e iluminação natural. Os coeficientes adotados foram de 1/6 da área útil para ambientes de permanência prolongada (como dormitórios e salas) e 1/12 para ambientes de permanência transitória (como banheiros e cozinhas), em conformidade com a ABNT NBR 15575-4:2021 e com o Código de Obras municipal (CRICIÚMA, 2023).

A terceira etapa consistiu na análise da compatibilidade dimensional entre os vãos modulados e as esquadrias disponíveis no mercado. Para isso, foram utilizados os catálogos técnicos das entidades Associação Brasileira do Alumínio (ABAL, 2019) e Associação Brasileira das Indústrias de Portas e Janelas Padronizadas (ABRAESP ([s.d.]), além de publicações de fabricantes que compõem os Programas Setoriais da Qualidade (PBQP-H, [s.d.]) e do Programa de Qualidade das Esquadrias Certificadas - QUALIESC ([s.d.]). Foram

consideradas três tipologias principais: janela de correr com duas folhas (para dormitórios), porta-janela de correr (para sala/cozinha) e janela tipo maxim-ar (para banheiro). A seleção dessas tipologias fundamenta-se em sua ampla aplicação em empreendimentos de habitação social e em sua representatividade no portfólio de fabricantes nacionais.

O método de verificação adotado baseou-se na proposta de Lucini (2001), que define critérios para o cálculo dos ajustes de coordenação entre esquadrias e alvenaria estrutural. Para cada ambiente do projeto modelo, foi determinada a medida ideal de esquadria a partir do vão resultante da modulação, acrescida das folgas mínimas exigidas pela ABNT NBR 10821-2:2023, referentes ao espaço necessário para assentamento, fixação e movimentação dos componentes. Em seguida, buscou-se nos catálogos dos fabricantes as esquadrias com dimensões padronizadas mais próximas às ideais, com o objetivo de avaliar a intercambialidade e o grau de compatibilidade dimensional entre o produto e o projeto.

A simulação da inserção das esquadrias padronizadas nos vãos modulares permitiu identificar as situações em que houve excesso ou insuficiência de folgas, necessidade de adaptações ou perda de área útil de ventilação e iluminação. Essas interferências foram classificadas de acordo com seu impacto no desempenho técnico, na racionalização do processo executivo da edificação. Foram também mencionadas as soluções tradicionalmente adotadas na prática de projeto ou em obra para resolver as incompatibilidades — como o uso de vergas e contravergas sobredimensionadas, preenchimentos em argamassa ou blocos de corte, e alterações pontuais na modulação.

A etapa final da metodologia consistiu na apresentação dos resultados obtidos por meio de tabelas comparativas, o que permite visualizar as diferenças entre as medidas ideais (baseadas na coordenação modular) e as medidas efetivamente encontradas no mercado. A discussão dos resultados foi conduzida com base nos referenciais teóricos previamente selecionados, com especial atenção às contribuições de autores que investigaram a interface entre padronização, desempenho e racionalização construtiva. Buscou-se, ainda, apontar diretrizes que contribuam para a melhoria da especificação de vãos e para o aprimoramento das estratégias de compatibilização dimensional, considerando a realidade do mercado de esquadrias de ciclo aberto no Brasil.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise dos dados obtidos a partir do projeto modelo desenvolvido permitiu observar diferentes níveis de compatibilidade dimensional entre os vãos modulados e as esquadrias padronizadas disponíveis no mercado. Os resultados foram organizados conforme as tipologias de esquadrias previstas no projeto — janelas de correr, porta-janelas e janelas tipo maxim-ar — e são discutidos com base nos princípios da coordenação modular, das exigências normativas e da literatura técnica nacional e internacional.

A partir do dimensionamento dos ambientes, determinaram-se as medidas ideais para cada vão, respeitando os critérios de desempenho estabelecidos pela ABNT NBR 15575-4:2021 e pelo Código de Obras do município de Criciúma (CRICIÚMA, 2023). Essas medidas ideais, utilizadas como referência para comparação, bem como as medidas comerciais padronizadas disponíveis em catálogos de fabricantes vinculados à ABAL (2019), à ABRAESP ([s.d.]), aos Programas Setoriais da Qualidade (PBQP-H, [s.d.]) e ao QUALIESC ([s.d.]), estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Medidas ideais e comerciais de esquadrias padronizadas para diferentes ambientes.

AMBIENTE	ÁREA MINIMA DAS ESQUADRIAS (m²)	DIMENSÃO DO VÃO PARA SUPRIR ÁREA MINÍMA (altura x largura (cm))	MEDIDA IDEAL DAS ESQUADRIAS (altura x largura (cm))	MEDIDAS PADRONIZADAS DISPONÍVEIS NO MERCADO (altura x largura (cm))
Banheiro	0,28	61 x 61	55 x 55	**50 x 50** / 60 x 60
Cozinha / Sala	4,00	211 x 201	205 x 195	**210 x 200** / 200 x 140
Quarto casal	2,01	121 x 181	115 x 175	100 x 160 / **120 x 180**
Quarto solteiro	1,29	121 x 121	115 x 115	**120 x 120** / 100 x 100

Fonte: Autores.

Na categoria da janela de correr com duas folhas, especificada para o “Quarto solteiro”, foi obtida a medida ideal de 115 cm × 115 cm (altura × largura). No entanto, ao confrontar essa medida com o produto padronizado mais próximo, disponível no mercado e que atende a área mínima, de 120 cm × 120 cm (altura × largura),

verifica-se uma diferença de 5 cm a mais na altura e largura. Além disso, embora o vão nominal projetado seja de 121 cm × 121 cm, a folga resultante de apenas 1 cm em relação à esquadria comercial é considerada insuficiente para os ajustes técnicos necessários (LUCINI, 2001). Esse tipo de folga estreita compromete o desempenho da esquadria, podendo acarretar manifestações patológicas como fissuras ou perda da estanqueidade, especialmente se não forem adotadas soluções adequadas de acomodação perimetral. Portanto, mesmo variações aparentemente mínimas podem exigem rebaixamento da verga, preenchimentos com argamassa ou a utilização de blocos compensadores para garantir a compatibilidade geométrica e o desempenho funcional da alvenaria.

A situação observada na porta-janela instalada na sala/cozinha segue padrão semelhante. A medida ideal de 205 cm × 195 cm — definida com base em critérios normativos e na modulação da alvenaria estrutural — foi comparada com as opções comerciais disponíveis. Entre os modelos encontrados, destaca-se a porta-janela com 210 cm × 200 cm, cujas dimensões excedem em 5 cm na altura e na largura os valores ideais definidos no projeto. Durante as pesquisas, embora o foco não tenha sido a análise das esquadrias internas, constatou-se que a altura mais comum das portas internas no Brasil, conforme verificado em manuais de fabricantes, é de 210 cm. Essa dimensão, por sua vez, frequentemente exige ajustes na modulação das vergas e contravergas para garantir o assentamento adequado. De acordo com Grabarz (2013), essas incompatibilidades geram a necessidade de "rebaixar vergas ou utilizar peças compensadoras para ajustar os vãos aos elementos disponíveis no mercado", o que compromete a uniformidade da modulação e pode afetar o desempenho construtivo.

Em contraste, a janela do tipo maxim-ar, utilizada no banheiro, apresentaram maior índice de compatibilidade. A medida ideal de 55 cm × 55 cm teve correspondência com diversos modelos comerciais, permitindo o encaixe direto da esquadria no vão modulado sem necessidade de ajustes relevantes. Esse caso demonstra que, para aberturas menores, a variedade do mercado tende a ser mais abrangente e oferece soluções mais compatíveis com os projetos modulados. Essa constatação corrobora as diretrizes do Guia de Esquadrias (CBIC; 2017), que recomenda a padronização e simplificação das tipologias como forma de favorecer a intercambialidade e o desempenho do sistema de vedação.

Estudos como os de Lucini (2001) e Moch (2009) demonstram que alterações na modulação — seja por necessidade de ajuste devido à folga excessiva ou à sua ausência — repercutem diretamente na racionalização do sistema construtivo, pois interrompem a sequência modular e demandam mão de obra adicional para as correções. Astorqui et al. (2022) analisam a relação entre a precisão de encaixe das esquadrias e o desempenho do sistema de vedação, destacando que pequenas variações dimensionais podem comprometer a estanqueidade e ocasionar manifestações patológicas, sobretudo em fachadas industrializadas. Tais evidências reforçam que a compatibilização entre modulação e esquadrias não deve ser subestimada, mesmo em situações de divergência aparentemente mínima. Grabarz (2013) também ressalta que esses ajustes afetam a intercambialidade dos componentes, além de dificultarem a replicabilidade do projeto, especialmente em obras seriadas de habitação social. De acordo com Romcy et al. (2014), pequenas incompatibilidades entre a modulação e as esquadrias podem gerar falhas nas interfaces, comprometendo o desempenho global do sistema de vedação.

A prática recorrente de compensar essas incompatibilidades por meio de vergas e contravergas sobredimensionadas, preenchimentos com blocos cortados ou espessamentos com argamassa é amplamente adotada nos canteiros de obras. No entanto, tais soluções impactam negativamente o desempenho térmico e acústico, além de elevarem o risco de fissuração nas regiões adjacentes às esquadrias, conforme evidenciado por Moch (2009), Astorqui et al. (2022) e Grabarz (2013). Esses autores alertam que a ausência de padronização compromete não apenas a racionalização do processo construtivo, mas também a durabilidade e o desempenho global da edificação.

Mesmo com casos de compatibilidade mais elevada, como o da janela do tipo maxim-ar, é importante destacar que o conjunto das tipologias analisadas indica a persistência de um desalinhamento entre os projetos concebidos segundo os princípios da coordenação modular e os produtos efetivamente disponíveis no mercado brasileiro. Em muitos casos, o projetista é forçado a adaptar os vãos ou a especificar esquadrias sob medida, o que compromete a racionalização e eleva o custo da edificação.

Do ponto de vista da coordenação modular, o desalinhamento entre modulação e esquadrias revela limitações práticas à sua plena adoção no Brasil. A ABNT NBR 15873:2024 estabelece diretrizes claras para o uso da malha modular, mas não impõe exigências compulsórias aos fabricantes de esquadrias, o que resulta em um vácuo regulatório e compromete a intercambialidade entre os elementos. Em países europeus como Alemanha

e Reino Unido, a adoção de medidas padronizadas vinculadas à coordenação modular foi impulsionada por exigências normativas e por políticas públicas voltadas à industrialização do setor da construção civil, especialmente após a adoção do sistema métrico e da malha decimétrica como base de referência (GREVEN; BALDAUF, 2007). De acordo com Grabarz (2013), o sucesso da aplicação da coordenação modular em contextos internacionais está fortemente atrelado à compatibilidade entre projeto e manufatura, viabilizada por uma articulação mais eficaz entre indústria, normas e agentes de projeto. No Brasil, embora haja avanços como os Programas Setoriais da Qualidade (PBQP-H, [s.d.]) e do QUALIESC ([s.d.]), a articulação entre projeto, norma e indústria ainda é incipiente, dificultando a efetiva consolidação da modulação como ferramenta de racionalização construtiva.

A discussão dos dados permite, portanto, confirmar que o problema da compatibilidade dimensional não decorre da ineficácia dos princípios da modulação, mas sim da falta de sinergia entre as etapas de projeto, os padrões de fabricação e as exigências normativas. Como discutem Lim et al. (2022) e Romcy et al. (2014), a padronização eficaz depende da articulação entre todos os agentes da cadeia produtiva, desde os projetistas e fabricantes até os órgãos normativos e certificadores. No Brasil, essa articulação ainda é incipiente, mas iniciativas como os Programas Setoriais da Qualidade (PBQP-H, [s.d.]) e do QUALIESC ([s.d.]), representam um avanço no sentido da consolidação de medidas preferenciais e boas práticas setoriais.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa evidenciou a importância da coordenação modular como ferramenta estratégica para a racionalização dos sistemas construtivos, em especial na alvenaria estrutural com blocos de concreto da família 14 cm, aplicada em edificações de habitação de interesse social. A partir da elaboração e análise de um projeto modelo desenvolvido com base em princípios de modulação, foi possível avaliar a compatibilidade dimensional entre os vãos padronizados e as esquadrias de ciclo aberto disponíveis no mercado nacional.

Os resultados demonstraram que, apesar da adoção da malha modular de 10 cm e do atendimento às exigências das ABNT NBR 15873:2024 e da ABNT NBR 15575-4:2021, nem sempre houve correspondência direta entre as medidas ideais dos vãos e as dimensões dos produtos comercialmente ofertados. A análise revelou casos em que as esquadrias disponíveis apresentaram pequenas variações em relação aos vãos projetados, o que pode exigir, em determinadas situações, ajustes no projeto ou em obra, ainda que essas adaptações não tenham sido verificadas diretamente no presente estudo.

As comparações apontaram que janelas tipo maxim-ar, geralmente utilizadas em banheiros, apresentaram maior compatibilidade com os vãos modulados. Em contrapartida, janelas de correr e portas-janelas demonstraram maior índice de incompatibilidades dimensionais, refletindo a ausência de padronização plena entre projeto e mercado. Essa constatação destaca a necessidade de articulação entre os agentes da cadeia produtiva e o uso de bibliotecas de componentes parametrizados para promover maior aderência entre projeto e produtos disponíveis.

Conclui-se, portanto, que a efetividade da coordenação modular no contexto estudado depende não apenas da aplicação criteriosa de seus princípios na fase projetual, mas também de uma maior aproximação entre os padrões adotados por projetistas, fabricantes e normatizadores. Espera-se que os resultados aqui apresentados contribuam para o debate técnico sobre a compatibilização dimensional em obras de alvenaria estrutural e ofereçam subsídios para futuras estratégias de padronização e integração entre sistemas construtivos.

AGRADECIMENTO

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

ABAL – Associação Brasileira Do Alumínio. Catálogo com as FADs – Fichas de Avaliação de Desempenho de Esquadrias já está disponível. São Paulo, 2019. Disponível em: https://abal.org.br/noticia/psq-catalogo-com-as-fads-fichas-de-avaliacao-de-desempenho-de-esquadrias-ja-esta-disponivel/ . Acesso em: 22 maio 2025.

ABRAESP – Associação Brasileira das Indústrias de Portas e Janelas Padronizadas. Tabela de produtos conformes. [S.l.]: [s.n.], [s.d.]. Disponível em: https://www.abraesp.com.br/tabela-de-produtos-conformes/ . Acesso em: 23 maio 2025.

ABNT – Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 10821-2:2023: Esquadrias para edificações – Requisitos. Rio de Janeiro, 2022.

ABNT – Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 15575-1:2024. Edificações habitacionais — Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

ABNT – Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 15575-4:2021: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais externas e internas. Rio de Janeiro, 2021.

ABNT – Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 15873:2024: Coordenação modular para edificações – Requisitos. Rio de Janeiro, 2024.

ASTORQUI, J. Santa Cruz et al. New execution process of a panel-based façade system that reduces project duration and improves workers' working conditions. Journal of Building Engineering, [S.l.], v. 48, p. 103894, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103894 . Acesso em: 23 maio 2025.

BANIHASHEMI, S.; TABADKANI, A.; HOSSEINI, M. R. Integration of parametric design into modular coordination: A construction waste reduction workflow. Automation in Construction, [S.l.], v. 88, p. 1–12, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.12.026 . Acesso em: 23 maio 2025.

BARBOZA, A. da S. R. et al. A técnica da coordenação modular como ferramenta diretiva de projeto. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 11, n. 2, p. 97–109, abr./jun. 2011.

CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção; Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. Esquadrias para edificações: desempenho e aplicações: orientações para especificação, aquisição, instalação e manutenção. Brasília: CBIC/SENAI, 2017. Disponível em: https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2017/11/Guia_de_Esquadrias_para_Edificacoes_2017.pdf . Acesso em: 23 maio 2025.

CRICIÚMA (SC). Lei nº 7.609, de 12 de dezembro de 2019. Dispõe sobre o Código de Obras do Município de Criciúma, revoga a Lei nº 2.847, de 27 de maio de 1993, suas alterações e demais disposições em contrário. Atualizada em setembro de 2023. Criciúma: Prefeitura Municipal, 2023. Disponível em: https://www.planodiretor.criciuma.sc.gov.br/arquivos/1693912769-LEI-DO-CODIGO-DE-OBRAS-ATUALIZADA-EM-09-2023.pdf . Acesso em: 23 maio 2025.

GRABARZ, R. C. Contribuição para o emprego de portas modulares em projetos de alvenaria estrutural. 2013. 285 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2013.

GREVEN, Marcus; BALDAUF, Afonso. Introdução à coordenação modular da construção no Brasil: uma abordagem atualizada. Brasília: ANTAC; UFRGS, 2007. (Coleção Habitare).

HWANG, K.-E. et al. Client-engaged collaborative pre-design framework for modular housing. Automation in Construction, [S.l.], v. 156, p. 105123, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105123 . Acesso em: 23 maio 2025.

LIM, Y.-W. et al. Planning and coordination of modular construction. Automation in Construction, [S.l.], v. 141, p. 104455, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104455 . Acesso em: 23 maio 2025.

LUCINI, G. Alvenaria estrutural com blocos de concreto: guia prático para projeto e execução. São Paulo: PINI, 2001.

MOCH, T. Interface esquadria/alvenaria e seu entorno: análise das manifestações patológicas típicas e propostas de soluções. 2009. 177 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre, 2009.

MONTEIRO, A. Projeto para produção de vedações verticais em alvenaria em uma ferramenta CAD-BIM. 2011. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

PBQP-H - Programa Brasileiro Da Qualidade E Produtividade Do Habitat. Empresas qualificadas nos Programas Setoriais da Qualidade – PSQ. [S.l.]: [s.n.], [s.d.]. Disponível em: https://pbqp-h.mdr.gov.br/sistemas/simac/empresas-qualificadas/ . Acesso em: 23 maio 2025.

QUALIESC – Programa De Qualidade Das Esquadrias Certificadas. Empresas com esquadrias certificadas. [S.l.]: [s.n.], [s.d.]. Disponível em: https://qualiesc.com.br/empresas-com-esquadrias-certificadas/ . Acesso em: 23 maio 2025.

ROMCY, N. M. e S.; CARDOSO, D.; BERTINI, A. A.; PAES, A. Desenvolvimento de aplicativo em ambiente BIM segundo princípios da Coordenação Modular. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 2, p. 23–39, abr./jun. 2014.

SINGH, M. M.; SAWHNEY, A.; BORRMANN, A. Modular coordination and BIM: development of rule based smart building components. Procedia Engineering, [S.l.], v. 123, p. 519–527, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.10.104 . Acesso em: 23 maio 2025.

VALOR ECONÔMICO. Estudo revela desempenho da construção civil em 2024. São Paulo: Valor Econômico, 11 mar. 2025. Disponível em: https://valor.globo.com/patrocinado/dino/noticia/2025/03/11/estudo-revela-desempenho-da-construcao-civil-em-2024.ghtml . Acesso em: 22 maio 2025.

ZUCCHETTI, L. et al. Proposta de elemento de integração para a interface entre alvenaria estrutural e esquadria. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 11, n. 3, p. 99–115, jul./set. 2011.