



2023

PAREDES DE ALVENARIA ESTRUTURAL COM BLOCOS CERÂMICOS NÃO ARMADOS – SÍNTESE DO MÉTODO CONSTRUTIVO E DIMENSIONAMENTO

Rodrigo Bonotto Demirdjian

Aluno de Graduação em Engenharia Civil, rodrigo.bonotto@ufms.br
Professor Orientador, Munir Mohamed Kassab, munir.kassab@ufms.br

Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Av. Costa e Silva, s/nº | Bairro Universitário | 79070-900 | Campo Grande, MS, Brasil.

RESUMO

O sistema construtivo em alvenaria estrutural com blocos cerâmicos é um dos mais utilizados no Brasil principalmente quando comparado quantitativamente às construções de madeira, aço ou mistas. Na utilização de elementos cerâmicos estruturais, as paredes exercem simultaneamente as funções de vedação e estrutural, ou seja, além da função convencional de fechamento, também são projetadas de modo a suportar seu peso próprio e também o peso global da edificação, diminuindo assim a quantidade de vigas e pilares de concreto armado. A alvenaria estrutural é um método construtivo tradicional utilizado há centenas de anos, sendo que nos últimos 30 anos, a alvenaria estrutural, armada ou não armada, de blocos cerâmicos ou de concreto, apresentou grandes avanços tecnológicos em sua produção, tornando-se um processo construtivo racionalizado e eficaz, totalmente amparado por normas técnicas robustas e consistentes. Diante disso, apresenta-se neste trabalho uma sistemática para produção de paredes em alvenaria estrutural com blocos cerâmicos não armada conforme a norma NBR16868 partes 1, 2 e 3 (ABNT, 2020), abordando as principais etapas construtivas, as prescrições técnicas normativas nacionais vigentes e, finalizando, com a idealização de dois exemplos numéricos de cálculo de dimensionamento de paredes em alvenaria estrutural. Convém ressaltar que este trabalho não tem a intenção de substituir livros textos, apostilas ou artigos técnicos-científicos que tratam do assunto de uma forma mais abrangente, senão o fato de apresentar sucintamente esse sistema construtivo e deixar como legado mais uma fonte de pesquisa para o mundo acadêmico e profissional da engenharia civil.

Palavras-chave: Paredes em alvenaria estrutural, Sistema construtivos e dimensionamento.

ABSTRACT

The construction system in structural masonry with ceramic blocks is one of the most utilized in Brazil, especially when compared quantitatively to wood, steel, or mixed constructions. In the use of structural ceramic elements, the walls simultaneously perform both sealing and structural functions. In other words, besides the conventional closing function, they are also designed to support their own weight and the overall weight of the building, thus reducing the amount of reinforced concrete beams and pillars. Structural masonry is a traditional construction method used for hundreds of years. In the last 30 years, structural masonry, reinforced or unreinforced, with ceramic or concrete blocks, has shown significant technological advancements in its production, becoming a rationalized and effective construction process, fully supported by robust and consistent technical standards. Therefore, this work presents a systematic approach for the production of unreinforced masonry walls with ceramic blocks according to the NBR16868 parts 1, 2, and 3 (ABNT, 2020), covering the main construction stages, current national technical regulatory prescriptions, and concluding with the conceptualization of two numerical examples for the structural masonry wall design calculation. It is worth mentioning that this work does not intend to replace textbooks, manuals, or technical-scientific articles that deal with the subject in a more comprehensive manner, but rather to succinctly present this construction system and leave behind another research source for the academic and professional world of civil engineering.

Keywords: Structural Masonry Walls, Construction Systems and Structural Sizing.

1. INTRODUÇÃO

Define-se alvenaria como um conjunto composto por blocos ou tijolos executados em obra e ligados entre si por argamassa de assentamento de forma que se tenha estruturalmente um comportamento monolítico.

Alvenaria estrutural é aquela em que a parede desempenha simultaneamente as funções de vedação e estrutural, podendo ser armada ou não, sendo que, enrijecida pela laje, trabalham estruturalmente dispensando as vigas e os pilares.

Muitos trabalhos de pesquisa foram desenvolvidos em alvenaria estrutural nos últimos 50 anos no Brasil e no mundo, melhorando não só a qualidade dos materiais empregados, mas também os métodos de cálculo. Em particular no Brasil, atualmente as construções seguem as diretrizes preceituadas pela norma NBR16868 partes 1, 2 e 3 (ABNT, 2020) que tratam de Projeto, Execução e Controle de Obras e Métodos de Ensaio, respectivamente. (UNESP,2021).

A alvenaria estrutural apresenta algumas vantagens em relação aos processos construtivos tradicionais, tais como: rapidez e simplificação dos procedimentos de execução, redução do uso de madeira, aço e concreto, redução de tempo e do custo global da obra, flexibilidade, interação e compatibilidade de projetos, organização do canteiro de obras, resistência ao fogo, dentre outros. Cita-se como desvantagens as seguintes proposições: restrição a reformas, ampliações ou adaptações não planejadas, impossibilidade de improvisações, limitação dos vãos, mão de obra especializada, dentre outras.

Apesar da crescente demanda no mercado em utilizar o método construtivo em alvenaria estrutural, são poucos os cursos de engenharia civil disponíveis nas universidades que possuem uma disciplina exclusiva que aborda esse tema. Como consequência disso, é fato que o número de profissionais que se formam sem o mínimo conhecimento sobre o método construtivo aumentou consideravelmente, restando infelizmente às construtoras contratarem profissionais com pouco ou sem nenhum conhecimento técnico. Isto poderá trazer consequências não só econômicas, mas principalmente no que diz respeito à segurança.

Como sendo uma das técnicas mais antigas de construção, a mesma tem evoluído gradualmente ao longo dos tempos, adaptando-se às mais variáveis necessidades humanas e sociais sem jamais deixar de acompanhar os avanços tecnológicos existentes.

O componente básico da alvenaria estrutural é o bloco, podendo o mesmo ser de concreto, cerâmico vazado, cerâmico maciço (tijolo) ou concreto celular. Neste trabalho serão tratados apenas as unidades de

alvenaria em blocos cerâmicos vazados, não armados e unidos entre si por argamassa de assentamento.

A alvenaria estrutural com blocos cerâmicos vazados não armados é um exemplo notável e atual dessa técnica de construção, pois o mesmo alia tradição e inovação para criar estruturas modernas, eficientes e duráveis. Alvenaria em blocos de concreto vazado e armado é mais antigo ou tradicional por estar no mercado há mais tempo.

2. OBJETIVO

O principal objetivo deste trabalho é apresentar as principais características do sistema de construção utilizando paredes de alvenaria estrutural com blocos cerâmicos não armados. iniciando-se com uma sintética abordagem história bibliográfica desse método construtivo no Brasil e no mundo ao longo dos tempos, seguido das orientações técnicas constantes nas normas nacionais vigentes e por último, um exemplo prático idealizado para o cálculo e dimensionamento de duas paredes em alvenaria estrutural é apresentado.

3. METODOLOGIA EMPREGADA

Para se alcançar o objetivo proposto neste trabalho, foi realizada inicialmente uma breve pesquisa bibliográfica do método construtivo em nível nacional e internacional, apresentando cronologicamente, algumas obras realizadas no passado e nos dias atuais.

Em seguida são apresentadas os principais aspectos e técnicas construtivas empregadas no Brasil, destacando-se algumas peculiaridades que a diferem da metodologia convencional de uma parede de tijolos comuns.

Ainda neste contexto, são identificadas as principais verificações de cálculo que devem ser realizadas em um projeto de paredes em alvenaria estrutural quanto a resistência, equilíbrio ou estabilidade local e global de cada um de seus elementos componentes e também na estrutura como um todo.

Os critérios de cálculo e dimensionamento devem satisfazer tanto no campo das Tensões máximas de tração, compressão e de cisalhamento (Método Determinístico das Tensões Admissíveis, com as resistências de cálculo sempre superiores às solicitações de cálculo), bem como o Método Probabilístico dos Estados Limites Últimos (com as ações são majoradas e as resistências minoradas por coeficientes de segurança apropriados estabelecidos por normas técnicas).

Para finalizar, apresenta-se um exemplo numérico de cálculo e dimensionamento de duas paredes em alvenaria estrutural sendo uma com abertura de janela

e outra sem, tomando-se como base a norma vigente NBR 16861-1 (ABNT, 2020).

4. HISTÓRICO

A construção em alvenaria estrutural ao longo da história revela uma trajetória evolutiva. Com suas raízes firmadas na antiguidade, o que não faltam são exemplos desse tipo de construção que remontam às mais longínquas datas já registradas, como por exemplo as Pirâmides do Egito (2600 A.C), o Parthenon na Grécia (480 A.C), a Muralha da China (220 A.C), o Coliseu em Roma (80 D.C), as catedrais do século XII ao XVII, dentre outras edificações.

Portanto, a história da humanidade é repleta de exemplos deste tipo de construção, tendo sido, até o início do século XX, dimensionadas de forma totalmente empíricas, cuja concepção estrutural, intuitiva é baseada totalmente na transferência de conhecimento entre as sucessivas gerações.

Uma exemplificação desse fato é o edifício Monadnock Building construído na cidade de Chicago em 1891. Com 65m de altura e 16 pavimentos, teve suas paredes térreas construídas com 1,80m de espessura. Hoje em dia, baseados em normas e cálculos matemáticos, bastariam 30 cm (UNESP,2021).

No entanto, no início do século XX, devido ao avanço do concreto armado, as construções em alvenaria sofreram uma estagnação. Seu ressurgimento ocorreu em meados de 1951 com a construção de um edifício em alvenaria estrutural não armada, realizada pelo pesquisador suíço Paul Haller da Universidade da Basileia. O referido edifício, continha 13 pavimentos, 41,40m de altura e paredes térreas com 37,50cm de espessura. Esse ano (1951), foi considerado o marco inicial da moderna alvenaria estrutural, quando a partir daí novas bases tecnológicas, pesquisas teóricas-experimentais e normas técnicas robustas começaram fortemente a serem desenvolvidas (UNESP,2021).

Outro exemplo, também de relevância marcante na construção civil mundial, trata-se do maior edifício construído em alvenaria estrutural até então. Esse edifício foi construído na cidade de Zurich na suíça em meados de 1957, contava com 18 andares tipo e paredes internas e externas com espessuras de 25cm e 38,50cm respectivamente.

Já no âmbito da construção civil no Brasil, a disseminação da alvenaria estrutural ocorreu em 1966 com a construção de edifícios de quatro pavimentos, e em 1972 quatro edifícios de 12 pavimentos, em São Paulo, ou seja, o conhecido “Central Parque da Lapa”.

Estima-se que no Brasil, entre 1964 e 1966, tenham sido construídas 2,50 milhões de unidades habitacionais em alvenaria estrutural.

No final dos anos 80 e inícios dos anos 90, houve um grande esforço entre órgãos regulamentadores, construtoras, universidades e governo federal para a normalização, caracterizando-se assim, o início do desenvolvimento tecnológico, principalmente com os convênios entre a EPUSP (Poli/USP) e empresas.

Coroando todo esse esforço empregado na obtenção de uma normatização robusta e eficiente, construiu-se no ano de 1990 em São Paulo, o maior edifício residencial em alvenaria estrutural no Brasil: “O Solar dos Alcântaras”. Possuindo 24 pavimentos no total é considerado um recorde na utilização de alvenaria estrutural.

Nas duas últimas décadas, com o surgimento de novos centros de pesquisa, a alvenaria estrutural vem se aperfeiçoando e ampliando sua abrangência nos setores habitacional, comercial e industrial, tornando-se um cada vez mais um processo construtivo eficiente e racional.

Frente a todo esse sucesso alcançado, tanto no aprimoramento e domínio do processo construtivo como um todo, segurança, economia e aprimoramento das normas técnicas, diversas construtoras passaram a explorar esse filão da construção civil no Brasil, uma vez que o crescimento econômico se fez presente nas últimas três décadas.

Essas construtoras, principalmente as localizadas em São Paulo, utilizou-se do método construtivo para construir conjuntos residenciais de pequeno, médio e grande porte, cuja abrangência de obras já realizadas, se estende, além da capital, por todo o Estado de São Paulo.

Já em Campo Grande e também no interior do Estado, apesar de algumas construtoras estarem migrando seus projetos de edificações residenciais, comerciais e industriais, para paredes de concreto armado, projetos estruturais que utilizam alvenaria estrutural tem-se mantido tradicionalmente construtivos, pois diversas são as obras públicas residenciais e também privadas realizadas que levam moradias às diferentes classes ou camadas sociais.

Todos esses exemplos no Brasil e no mundo, antigos e contemporâneos, demonstram a versatilidade e a importância contínua da alvenaria estrutural na construção civil. A técnica construtiva evoluiu ao longo dos séculos, adaptando-se às necessidades modernas, porém ainda mantém suas raízes antigas na construção de edificações sólidas e duráveis.

5. SISTEMA CONSTRUTIVO

A alvenaria estrutural com blocos cerâmicos não armada, se baseia no empilhamento sequencial de blocos de forma que suas superfícies de contato fiquem em contato direto entre si e as falhas entre os blocos sejam minimizadas. Isso cria um sistema em que a carga e conseqüentemente as tensões de compressão são transmitidas de bloco para bloco, distribuindo uniformemente as cargas ao longo da parede. Evidentemente há o surgimento de tensões de tração, porém de pequena intensidade e restritos à pontos específicos, como por exemplo nas regiões de abertura.

O encaixe preciso dos blocos cria um efeito de travamento aumentando a estabilidade da parede. Em alguns casos, é necessário adicionar reforços estruturais com barras de aço para aumentar a resistência da alvenaria. Esses reforços são incorporados à estrutura para resistir à determinados carregamentos específicos.

Quanto a estabilidade lateral, a mesma é estabelecida por meio de contraventamentos e amarrações adequadas nas paredes de alvenaria, evitando assim o movimento lateral não desejado da estrutura.

5.1 Blocos Cerâmicos

O componente básico da alvenaria estrutural consiste no bloco cerâmico ou de concreto. Existem diversas famílias de blocos cerâmicos, cada uma apresentando dimensões específicas, cuja escolha é determinada pelos requisitos estruturais e pelas especificações do projeto, incluindo a resistência necessária.

Unidades fabricadas essencialmente com argila e conformadas por extrusão constituem a base desses blocos, sendo que a composição da matéria-prima e o processo de fabricação influenciam suas propriedades físicas.

De acordo com a NBR 15270 (ABNT, 2023), as resistências à compressão dos blocos cerâmicos, variam entre EST40 (baixa resistência – 4MPa) a EST140 (alta resistência – 14MPa).

As famílias de blocos cerâmicos não se limitam apenas em características que diz respeito ao dimensionamento estrutural de uma parede, mas também abrangem diferentes formatos, onde cada um atende a uma necessidade específica no projeto.

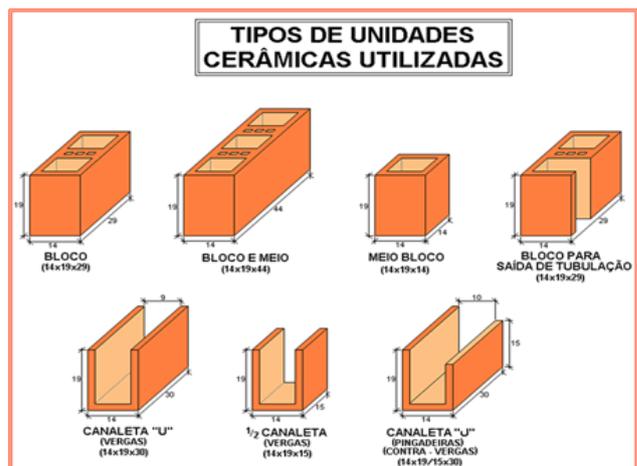
Segundo a norma mencionada acima, as unidades cerâmicas se dividem em dois tipos: tijolos e blocos. Enquanto que o tijolo possui todas as faces plenas de material, o bloco apresenta furos prismáticos e/ou cilíndricos perpendiculares às faces que o contém.

A NBR 15270 (ABNT, 2023) estabelece requisitos necessários para os blocos cerâmicos estruturais, como a obrigatoriedade de uma gravação em uma das faces externas em baixo relevo ou uma reentrância, contendo a identificação do fabricante e do bloco. Esta inscrição deve incluir no mínimo a identificação da empresa, as dimensões de fabricação em centímetros (L x H x C), o indicativo "EST" (referente à condição estrutural) e a indicação de rastreabilidade.

A norma também ressalta que os blocos cerâmicos estruturais não devem apresentar defeitos sistemáticos que comprometam sua utilização, ou seja, quebras, superfícies irregulares e deformações em geral. Além disso, as características visuais do bloco, quando observado pela face à vista, devem atender aos critérios acordados entre fabricante e fornecedor no contrato de fornecimento.

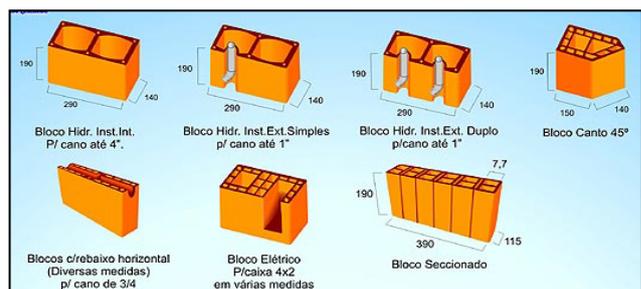
A figura 1 a seguir, apresenta alguns dos tipos de blocos cerâmicos estruturais que são utilizados em alvenaria estrutural.

Figura 1 – Tipos de Unidades Cerâmicas. Fonte: <http://www.forumdaconstrucao.com.br>



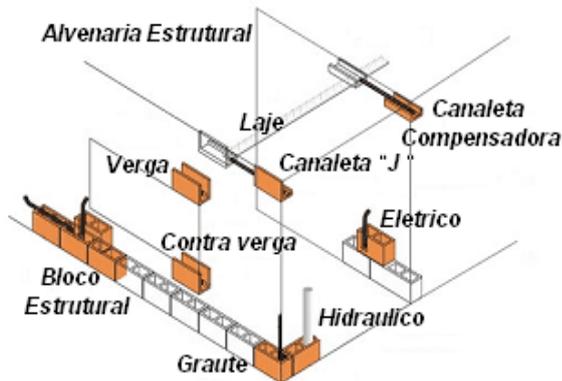
Adicionalmente no mercado atual, encontram-se blocos cerâmicos especiais, figura 2 abaixo, os quais não são definidos por normas e convencionados pelos fabricantes. Esses blocos são formulados para facilitar e tornar mais prática a execução na obra, minimizando cortes e quebras durante o processo construtivo.

Figura 2 – Unidades Cerâmicas Especiais. Fonte: <http://www.ceramicacanella.com.br>



Na figura 3, é possível observar de forma simplificada a ampla empregabilidade dos diferentes formatos de blocos cerâmicos que constituem uma alvenaria estrutural, destacando-se tanto os blocos especiais, que são adaptados conforme as necessidades específicas do projeto, quanto os blocos não especiais.

Figura 3 – Esquemática dos blocos. Fonte: <http://www.construtens.com.br>



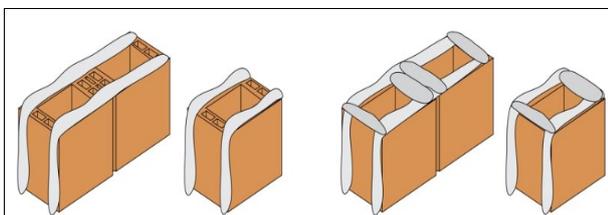
5.2 Argamassa para assentamento dos blocos

A argamassa de assentamento é composta geralmente por cimento, areia, água e aditivos; sendo então aplicada entre as fiadas de blocos, proporcionando a coesão vertical da alvenaria. A argamassa pode ser aplicada tanto no sentido longitudinal quanto no transversal.

Estudos indicam que, em média, a resistência à compressão pode aumentar em até 20% quando aplicada nos dois sentidos. Por isso no caso de aplicação apenas no sentido longitudinal deve se considerar um fator de correção de 0,80 na resistência a compressão da alvenaria, segundo a NBR16868-1 (ABNT, 2020). Vale ressaltar também, que a argamassa deve ter resistência a compressão menor que o bloco escolhido.

A distribuição uniforme da argamassa ao longo da alvenaria contribui para uma melhor resposta estrutural, reduzindo possíveis pontos frágeis e melhorando a coesão global do sistema. A figura 4 a seguir mostra de forma simplificada a aplicação da argamassa de assentamento nos blocos cerâmicos em ambos os sentidos horizontal e vertical.

Figura 4 – Aplicação da argamassa. Fonte: <http://www.grupoestrutural.com.br/>



A aplicação da argamassa no bloco pode ser realizada por meio de um instrumento chamado palheta, que tem a função de distribuir o material uniformemente na superfície de contato do bloco, conforme a figura 5. Caso haja a necessidade de se aplicar argamassa nos dois sentidos, então recomenda-se que essa aplicação seja realizada utilizando um aplicador no formato de bisnaga.

Figura 5 – Aplicação de argamassa com palheta. Fonte: <https://engenharia360.com>



5.3 Graute

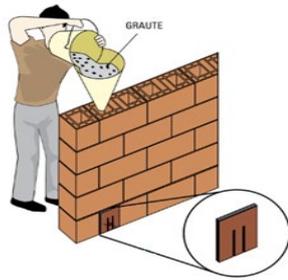
O graute é uma mistura de alta plasticidade e fluidez composta por água, cimento e areia (no caso do graute fino), ou cimento, areia e pedrisco (no caso de graute grosso), sendo utilizado basicamente para preencher os vazios presentes nos blocos, ou seja, vedar os furos verticais e as canaletas aumentando assim a resistência à compressão da alvenaria sem aumentar a resistência individual do bloco (Parsekian, 2012).

O graute também é empregado para solidarizar a armadura às paredes no caso de amarrações, contraventamentos, vergas e contravergas. Apesar da necessidade de possuir alta fluidez, recomenda-se que a resistência do graute não seja inferior a 15 MPa, segundo NBR16868-1 (ABNT, 2020), e a avaliação da influência do graute na compressão deve ser feito mediante ensaio de compressão de prismas e paredes pequenas.

Após a limpeza dos furos, o lançamento do graute deverá ser realizado um dia após a finalização do assentamento dos blocos, respeitando a altura máxima de lançamento de no máximo 3,00m para o graute convencional e 1.60m para o graute auto-adensável.

A figura 6 abaixo, ilustra a aplicação do graute, juntamente com uma peça de madeira compensada utilizada na limpeza dos furos.

Figura 6 – Aplicação do graute. Fonte: <http://www.grupoestrutural.com.br>



5.4 Modulação

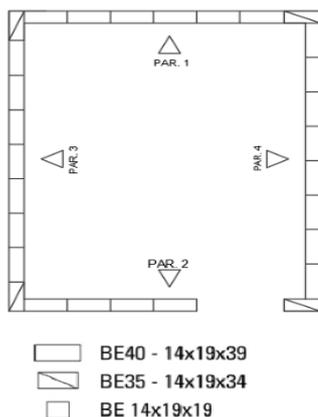
A execução da modulação é crucial na elaboração de projetos em alvenaria estrutural, envolvendo um estudo prévio para acertar as dimensões em planta, (modulação horizontal) e o pé-direito da edificação (modulação vertical). Essa abordagem visa evitar cortes ou ajustes durante a execução das paredes, sendo particularmente relevante amarrar duas ou mais paredes sempre que possível (MAMEDE, 2001).

A igualdade ou múltiplos entre comprimento e largura são essenciais para criar um único módulo em planta, simplificando assim a amarração e contribuindo para a racionalização do sistema construtivo global.

Blocos modulares com dimensões de 15cm (módulo M-15) e 20 cm (módulo M-20) são amplamente utilizados, sendo que os mesmos apresentam diferentes valores de comprimentos e larguras. As medidas das paredes devem ser múltiplos desses módulos para garantir uma modulação adequada no projeto de alvenaria estrutural (RAMALHO E CORRÊA, 2003).

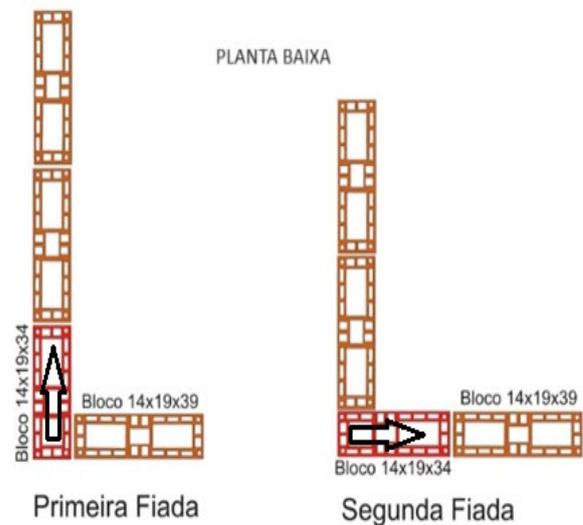
De acordo com Ramalho e Corrêa (2003), a unidade de alvenaria é definida por três dimensões principais: comprimento, largura e altura. O comprimento e a largura do bloco estabelecem o módulo horizontal ou módulo em planta, ilustrado na figura 7, enquanto a altura do mesmo define o módulo vertical utilizado nas elevações.

Figura 7 – Modulação Horizontal. Fonte: Autor



A amarração entre paredes, conforme Parsekian (2012), pode ser direta, com sobreposição dos blocos a cada duas fiadas, ou indireta, sem sobreposição, utilizando barras e telas metálicas. A dimensão do comprimento do bloco deve ser preferencialmente múltipla da espessura, facilitando a amarração das paredes. No entanto, procedimentos alternativos podem ser necessários, como o uso de blocos especiais (MAMEDE E CORRÊA, 2006 apud TAVARES, 2011). A figura 8 a seguir exemplifica o procedimento de amarração de canto direta para primeira e segunda fiada.

Figura 8 – Vista em planta da amarração direta de canto. Fonte: <https://dev.blogdaliga.com.br>



Quando se trata da modulação vertical, é essencial considerar duas abordagens distintas. Na primeira, a distância modular é aplicada de piso a teto, resultando na utilização de blocos "J" nas paredes externas, permitindo que uma delas tenha dimensões superiores à convencional para acomodar a laje.

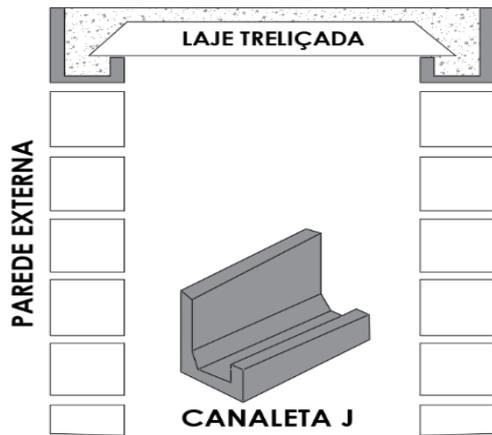
Nas paredes internas, adotam-se blocos canaletas comuns na última fiada para ajustar a altura da laje, conforme indicado por Parsekian (2012).

Já na segunda abordagem, relacionada à distância entre pisos, a última fiada das paredes externas é composta por blocos "J," sendo uma das suas laterais com altura menor que a convencional, favorecendo a acomodação estrutural da laje. Para as paredes internas, utiliza-se blocos compensadores na última fiada, possibilitando o ajuste da distância de piso a teto, que não segue uma modulação padrão (RAMALHO E CORRÊA, 2003).

A figura 9 mostra uma representação simplificada da modulação vertical com blocos canaleta tipo "J".

Figura 9 – Modulação vertical, com canaleta tipo “J”.

Fonte: Autor



6. DIMENSIONAMENTO DE PAREDE EM ALVENARIA ESTRUTURAL

Neste item são apresentadas as verificações de cálculo e os dimensionamentos necessários à estrutura em questão. As verificações são realizadas quanto as resistências de cálculo da estrutura frente aos esforços solicitantes de compressão, flexão, cisalhamento e flexocompressão. Recomendações segundo a norma NBR16868-1 (ABNT, 2020) em relação às aberturas nas paredes, são aqui também apresentadas.

6.1. Dimensionamento quanto a compressão simples

Para os projetos em alvenaria estrutural, o principal cálculo é o da resistência de paredes à compressão, pois a parede é o elemento estrutural mais importante, e também porque a solicitação de compressão é a mais comum. A cálculo da resistência das paredes por meio da resistência de prismas é o procedimento prescrito pela norma NBR 16868-1 (ABNT, 2020), bem como por outras normas estrangeiras, como a BS 5628 e ACI530. A força normal resistente de cálculo da alvenaria (N_{rd}) deverá ser sempre menor ou igual ao esforço característico ou solicitante de cálculo (N_{sd}).

Para paredes em alvenaria estrutural não armada, a força normal resistente de cálculo é obtida por meio da equação 1.

$$N_{rd} = f_d \cdot A \cdot R \quad (1)$$

Onde:

N_{rd} : força normal de compressão resistente de cálculo.
 f_d : resistência à compressão de cálculo da alvenaria (kN/m^2)
 A : área da seção resistente (m^2);
 R : coeficiente redutor devido a esbeltez da parede.

Segundo a NBR 16868/1 (ABNT, 2020) o coeficiente redutor (adimensional) se relaciona com o índice de esbeltez da parede conforme equação 2.

$$R = 1 - \left(\frac{\lambda}{40}\right)^3 \quad (2)$$

O índice de esbeltez é dado pela equação 3, ou seja:

$$\lambda = \frac{h_e}{t_e} \quad (3)$$

Onde:

λ : índice de esbeltez;
 h_e : altura da parede;
 t_e : largura da parede.

Para paredes não armadas, o índice de esbeltez (λ) deve ser no máximo igual a 24.

Caso as juntas horizontais forem assentadas com argamassa parcial, a resistência característica à compressão simples da alvenaria deve ser corrigida por um fator de 0,8.

A determinação da resistência característica à compressão simples (f_k) da alvenaria é conduzida por meio do ensaio de paredes, seguindo as normativas da NBR16868-3 (ABNT, 2020).

Para paredes construídas com blocos de 190mm de altura e juntas de 10mm, é possível estimar essa resistência como 70% da resistência característica à compressão simples de prisma (f_{pk}), ou seja, conforme equação 4.

$$f_{pk} = \frac{f_k}{0,70} \quad (4)$$

Onde:

f_{pk} : resistência característica à compressão do prisma (kN);
 f_k : resistência característica à compressão (kN).

As resistências características de paredes ou prismas devem satisfazer às especificações normativas, sendo estas correlacionadas com a resistência característica dos blocos (f_{bk}). Ressalta-se que essa relação pode ser Aobtida no Anexo F da NBR 16868-1 (ABNT, 2020), exemplificado na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1 – Relação Prisma / Bloco. Fonte: NBR16868-1 (ABNT, 2020 - Anexo F).

Tipo de Bloco	f_{bk} (MPa)	f_{pk}/f_{bk}	f_{pk} (MPa)
Prisma composto por blocos cerâmicos de parede vazada de acordo com a NBR15270-1 (ABNT, 2020)	4,00	0,50	2,00
	6,00	0,50	3,00
	8,00	0,50	4,00
	10,00	0,45	4,50

6.2. Dimensionamento quanto a flexão simples

A flexão é uma solicitação muito comum em paredes de alvenaria estrutural, tal como ocorre em elementos de concreto armado com vigas, reservatórios, muros de arrimo, muros sujeitos à ação do vento, pilares, etc.

De forma semelhante ao concreto, a alvenaria apresenta baixa resistência à tração e boa resistência à compressão. Para a alvenaria não armada, o cálculo do momento fletor resistente na seção transversal pode ser feito com o diagrama simplificado.

Na análise de tensões localizadas na direção normal às juntas de assentamento, e considerando-se uma distribuição linear, a resistência à compressão na flexão, em trechos não grauteados, é equivalente a 1,50 vezes a resistência característica da alvenaria.

Ao estabelecer a resistência característica (f_{tk}) para elementos de alvenaria é fundamental garantir condições que se equiparem à região comprimida da peça. Este processo leva em consideração a orientação da resultante de compressão em relação à junta de assentamento dos elementos básicos.

Quando à compressão ocorre paralelamente às juntas de assentamento, como no caso de vigas, a resistência característica à flexão é equivalente a 50% da resistência à compressão na direção perpendicular às juntas.

Para consideração da resistência à tração da alvenaria sob flexão, válidos para assentamento com juntas verticais preenchidas, adota-se os valores presentes na norma NBR 16868-1 (ABNT, 2020), conforme descritos na Tabela 2.

Convém aqui mencionar que, caso a tensão de tração atuante ultrapassar a resistência de cálculo da alvenaria estrutural à tração na flexão, será então necessário a colocação de armadura de aço para conter os esforços de tração. Sendo assim, a alvenaria será então considerada como alvenaria estrutural armada.

Tabela 2 – Valores característicos da resistência à tração na flexão. Fonte: NBR16868-1 (ABNT, 2020).

Resistência média à compressão da argamassa de assentamento	F_{tk} (MPa)	
	Tração perpendicular à fiada	Tração paralela à fiada
Entre 1,50 e 3,40 MPa	0,10	0,20
Entre 3,50 e 7,00 MPa	0,20	0,40
Acima de 7,00 MPa	0,25	0,50

6.3. Dimensionamento quanto ao cisalhamento

Quanto à tensão de cisalhamento, a Tabela 4 da NBR 16868-1 (ABNT, 2020) fornece valores da resistência característica ao cisalhamento em juntas horizontais (f_{vk}) em função da faixa de resistência da argamassa. Os valores são válidos para assentamento com juntas verticais preenchidos. A Tabela 3 a seguir, mostra os valores característicos da resistência ao cisalhamento, sendo que esses valores são válidos apenas para assentamento de juntas verticais preenchidas.

Tabela 3 – Valores característicos da resistência ao cisalhamento. Fonte: NBR16868-1 (ABNT,2020).

Resistência média a compressão da argamassa	f_{vk} (MPa)
Entre 1,50 e 3,40 MPa	$0,10 + 0,50 \times \sigma \leq 1,00$
Entre 3,50 e 7,00 MPa	$0,15 + 0,50 \times \sigma \leq 1,40$
Acima de 7,00 MPa	$0,35 + 0,50 \times \sigma \leq 1,70$

* “ σ ” é a tensão normal de pré-compressão na junta, considerando-se apenas as ações permanentes ponderadas por coeficiente igual a 0,9. (ação favorável).

A expressão para o cálculo da tensão de cisalhamento (τ_{vd}) em peças de alvenaria não armada é dada pela equação 5 a seguir.

$$\tau_{vd} = \frac{V_d}{b \cdot h} \quad (5)$$

Onde:

τ_{vd} : tensão de cisalhamento da alvenaria.

V_d : esforço cortante de cálculo da alvenaria.

b : largura do bloco.

h : altura da alvenaria.

O esforço cortante de cálculo (V_d) é a resultante do carregamento distribuído ao longo do comprimento efetivo da parede.

A tensão de cisalhamento de cálculo (τ_{vd}) não pode superar a resistência ao cisalhamento de cálculo da alvenaria (f_{vd}), obtida a partir dos valores característicos da resistência ao cisalhamento (f_{vk}), conforme equação 6 abaixo.

$$\tau_{vd} \leq \frac{f_{vk}}{\gamma_m} \quad (6)$$

Onde:

τ_{vd} : tensão de cisalhamento de cálculo.

f_{vk} : resistência característica ao cisalhamento.

γ_m : coeficiente de ponderação das resistências.

Os valores do coeficiente de ponderação das resistências (γ_m), conforme a NBR 16868-1 (ABNT, 2020), são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores de γ_m . Fonte: NBR16868-1 (ABNT, 2020)

Combinações	Alvenaria
Normal	2,00
Especiais ou de construção	1,50
Excepcionais	1,50

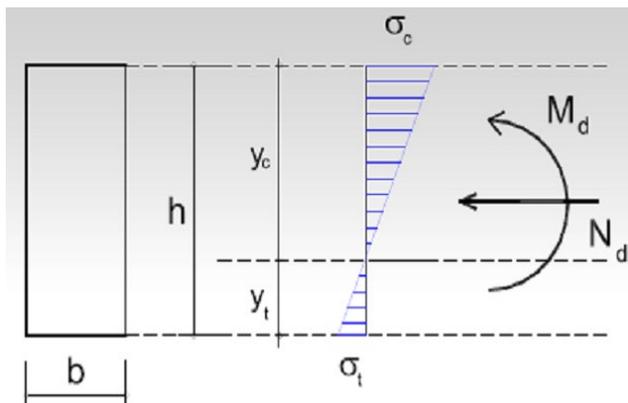
6.4. Dimensionamento quanto a flexocompressão

A flexão composta ocorre quando o momento fletor e a força normal de compressão atuam simultaneamente no elemento estrutural. Como exemplo, citam-se as paredes de contraventamento, paredes com cargas verticais sob empuxo do solo ou da água, paredes com carga vertical excêntrica, dentre outros.

Todo elemento de alvenaria estrutural submetido à flexocompressão deve resistir à força de compressão de cálculo atuante (item 6.1), ou seja, devem ser respeitadas as forças normais resistentes de cálculo (N_{Rd}), considerando apenas força de compressão simples conforme equação 1 descrita anteriormente.

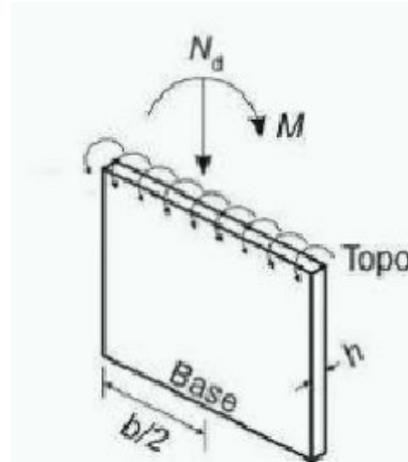
Quanto à verificação de flexocompressão, as seções transversais de alvenaria não armada são consideradas no Estádio I ou seja, alvenaria não fissurada e comportamento elástico linear dos materiais conforme figura 10 abaixo.

Figura 10 – Tensões no Estádio I na flexocompressão. Fonte: Ramalho e Corrêa.



Em relação às paredes não armadas, obtém-se as tensões normais por meio da superposição das tensões normais devido ao momento fletor, e das tensões normais devido à força de compressão, conforme mostrada na figura 11.

Figura 11 – Representação da parede submetida a esforços de flexocompressão. Fonte: NBR16868-1 (ABNT, 2020).



As tensões normais de compressão devem satisfazer a equação 7 a seguir.

$$\frac{N_d}{A \cdot R} + \frac{M_d}{W \cdot K} \leq f_d \quad (7)$$

Onde:

N_d : força normal de cálculo.

M_d : momento fletor de cálculo.

f_d : resistência a compressão de cálculo da alvenaria.

A : área da seção resistente.

W : mínimo módulo de resistência de flexão da seção.

R : coeficiente redutor devido à esbeltez do elemento.

K : fator de ajuste da resistência à flexocompressão.

6.5. Dimensionamento quanto a aberturas

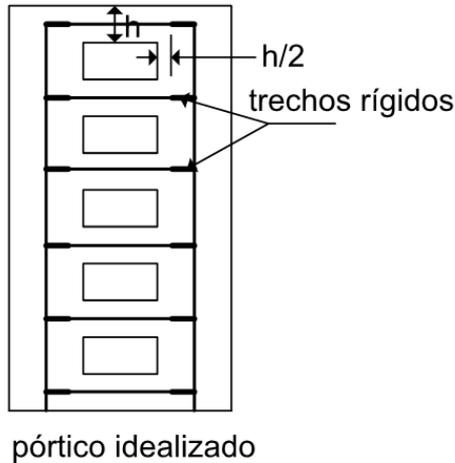
As aberturas em paredes são espaços nas quais as tensões se concentram podendo causar fissuras nos cantos da mesma na diagonal. A alta concentração de tensões exige utilização de blocos de resistência elevadas e conseqüentemente maiores custos.

No caso das alvenarias estruturais, as aberturas de portas e janelas devem ser projetadas respeitando-se a modulação, possuir medidas adequadas e compatíveis de modo a evitar as altas concentrações de tensões.

Para o enrijecimento das regiões onde há aberturas e concentração de tensões, utiliza-se vergas e contravergas, podendo ser canaletas do tipo "U", as quais permitem um espaço para possíveis armaduras e aplicação de graute.

As paredes com aberturas são assimiladas a um pórtico plano, onde a parede representa o pilar e as partes que estão entre as aberturas (Lintéis) representam as vigas, conforme figura 12 a seguir.

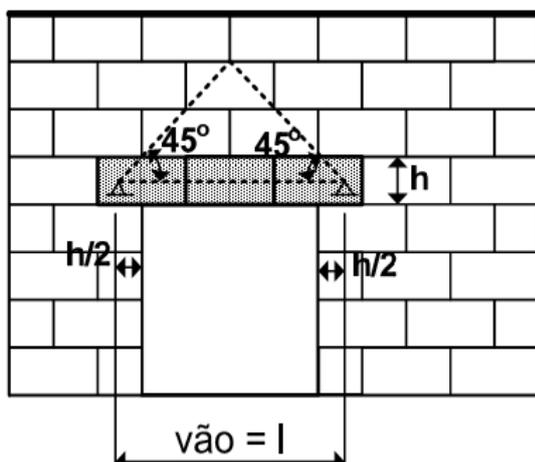
Figura 12 – Representação de paredes com abertura pelo pórtico plano idealizado. Fonte: Araújo, 2014.



Quanto ao dimensionamento, deve-se projetar corretamente as dimensões da abertura (comprimento e altura), pois a dissipação do peso da alvenaria contida dentro da região triangular, somada ao peso próprio da verga que estão acima da abertura, ocorre em um ângulo de 45° em direção às paredes adjacentes as quais lhes dão suporte.

A figura 13 mostra um modelo de uma parede estrutural com abertura e também a dispersão do carregamento, direcionando-os para as paredes adjacentes em um ângulo de 45° com a horizontal.

Figura 13 – Distribuição de carregamento acima da abertura. Fonte: Araújo, 2014.



Para absorver as tensões de tração e, conseqüentemente, eliminar as fissuras ou trincas que surgem nos cantos em diagonais das aberturas de paredes devido às tensões de tração no material e também dar sustento à parede acima da abertura, é necessário a colocação de uma verga (canaleta tipo U).

O cálculo da armadura de flexão necessária para a verga é realizado utilizando basicamente a equação 8.

$$A_s = \frac{M_d}{f_{yk} \cdot z} \quad (8)$$

Onde:

A_s : armadura longitudinal;

M_d : momento fletor de cálculo;

f_{yk} : tensão de escoamento do aço;

z : braço de alavanca (distância entre as resultantes de tração e compressão que agem na seção transversas).

A tensão no aço (f_{yk}) segundo a NBR 16868-1 (ABNT, 2020) estabelece o limite para blocos e tijolos cerâmicos vazados com faces lisas em contato com graute de f_{yk} para barras de 10mm, $0,75f_{yk}$ para 12,5mm e $0,5f_{yk}$ para barras de 16mm ou mais.

Quanto aos esforços de cisalhamento na flexão para elementos armados em alvenaria estrutural, quando existirem armaduras perpendiculares ao plano de cisalhamento e envoltos por graute, como é o caso das vergas e contravergas, a resistência característica ao cisalhamento pode ser obtida pelas equações 9 e 10.

$$f_{vk} = 0,35 + 17,50 \cdot \rho \leq 0,7 \quad (\text{MPa}) \quad (9)$$

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} \quad (10)$$

Onde:

f_{vk} : resistência característica ao cisalhamento.

ρ : taxa geométrica da armadura.

A_s : área da armadura na flexão da verga.

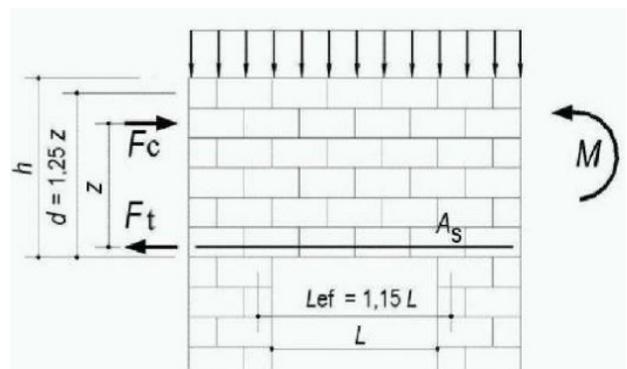
b : largura da seção transversal da verga.

d : altura efetiva da verga.

Conforme NBR 16868-1 (ABNT, 2020), em relação as tensões de cisalhamento que agem na interface vertical de paredes com juntas amarradas, adotam-se o valor de 0,60MPa para a resistência característica ao cisalhamento.

Quando a relação entre o vão livre e a altura da verga for menor que três, é necessário então considerá-la como uma viga-parede. Sendo assim, a força resultante de tração deverá ser absorvida pela armadura longitudinal (A_s) e braço de alavanca (z), equivalente a 2/3 da altura da viga (h), figura 14.

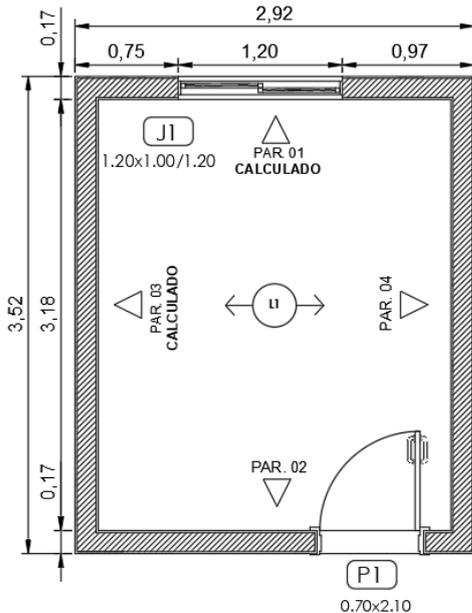
Figura 14 – Forças resultante na abertura de parede. Fonte: NBR 16868 -1(ABNT,2020).



7. EXEMPLO NUMÉRICO DE APLICAÇÃO

Neste item, como exemplos de aplicações práticas, serão realizados os dimensionamentos de duas paredes genéricas, sendo uma com abertura de janela (P01) e outra sem abertura (P03). Ambas as paredes, pertencem a um simples modelo de uma planta arquitetônica mostrada na figura 15.

Figura 15 – Planta arquitetônica contendo as paredes calculadas. Fonte: Autor.



7.1 Reação da Laje e Peso Próprio nas Paredes

Para o cálculo da laje, considerou-se uma laje pré-fabricada treliçada β12 (TR8645) com enchimento em EPS, peso próprio 2,50kN/m², sobrecarga de 2,50kN/m², revestimento inferior 1,0 kN/m² e manta asfáltica impermeabilizante de 1,80 kN/m².

De acordo com Carvalho e Filho (2014), as reações da laje pré-fabricada nas paredes de contorno (quinhões de carga), são obtidas utilizando-se as equações 11 (parede P03 perpendicular às nervuras) e 12 (parede P01 paralela às nervuras), respectivamente.

$$P_{vy} = \frac{(58 + 17 \cdot \lambda) \cdot P \cdot L_x}{200} \quad (11)$$

$$P_{vx} = \frac{(42 - 17 \cdot \lambda) \cdot P \cdot l_y}{200} \quad (12)$$

Sendo:

P_{vy} : reação da laje na parede P03 (kN/m).

P_{vx} : reação da laje na parede P01 (kN/m).

P : carga distribuída na laje (kN/ m²).

λ : razão entre as dimensões L_y e L_x .

L_y : maior dimensão da laje.

L_x : menor dimensão da laje.

O cálculo para a obtenção dos quinhões de carga, (reações da laje nas paredes de apoio) para as paredes P01 e P03, foram aqui omitidos por não consistir em foco principal deste trabalho. Entretanto, os resultados sintetizados dos cálculos estão mostrados na Tabela 5.

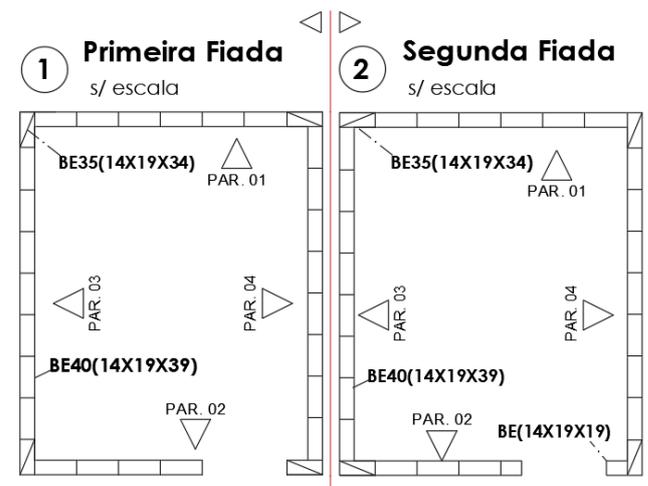
Tabela 5 – Reações da laje nas paredes consideradas.

Fonte: Autor.

Laje h12	L_x (m)	L_y (m)	λ (L_y/L_x)	P (kN/m ²)	P_{vy} (kN/m)	P_{vx} (kN/m)
P01	2,75	3,35	1,22	7,80	-	2,78
P03	2,75	3,35	1,22	7,80	8,44	-

O peso próprio das paredes é obtido por meio de um pré-dimensionamento a partir da modulação dos blocos. Neste exemplo, utilizou-se a modulação 15, com blocos BE, BE35 e BE 40 de 14cm de espessura, 19cm de altura e comprimento variável. A figura 16 a seguir mostra a modulação para a primeira e segunda fiadas de blocos acima descritos.

Figura 16 – Modulação para a primeira e segunda fiadas de blocos. Fonte: Autor.



A partir da definição da modulação, mostrada na figura 16 e considerando a espessura da parede acabada com 17,0cm, altura de 3,0m e peso específico de 15,0kN/m³, determina-se o peso próprio da parede.

O carregamento uniformemente distribuído sobre as paredes devido a laje (Tabela 5), somado com o peso próprio das paredes, resulta no esforço normal solicitante ou característico (N_s). Para obter força normal de cálculo (N_{sd}), basta multiplicar pelo coeficiente de ponderação γ_m (Tabela 4). Os valores obtidos estão mostrados na Tabela 6 a seguir.

Tabela 6 – Combinação dos carregamentos e força normal de cálculo. Fonte: Autor

Paredes	Peso próprio (kN/m)	Pv (kN/m)	L(par) (m)	Ns (kN)	Nsd (kN)
P01	6,70	2,78	2,92	27,40	54,80
P03	7,65	8,44	3,52	56,64	113,28

7.2 Dimensionamento dos Blocos

Com base nas equações 1, 2 e 3 descritas no item 6.1, obtém-se a resistência à compressão das paredes P01 e P03 respectivamente, cujos resultados obtidos são mostrados abaixo.

$$f_{d,01} = 160,05 \text{ kN/m}^2 = 0,16 \text{ MPa}$$

$$f_{d,03} = 271,64 \text{ kN/m}^2 = 0,27 \text{ MPa}$$

A resistência do prisma é tomada como 70% da resistência à compressão das paredes, ou seja, para as paredes P01 e P03, respectivamente, obtém-se:

$$f_{pk,01} = 228,64 \text{ kN/m}^2 = 0,23 \text{ MPa}$$

$$f_{pk,03} = 388,06 \text{ kN/m}^2 = 0,39 \text{ MPa}$$

O anexo “F” da NBR16868-1 (ABNT, 2020) estabelece que a resistência do bloco à compressão deverá ser duas vezes maior que a resistência do prisma. Sendo assim, para as paredes P01 e P03, respectivamente, obtém-se:

$$f_{bk,01} = 457,30 \text{ kN/m}^2 = 0,46 \text{ MPa}$$

$$f_{bk,03} = 776,12 \text{ kN/m}^2 = 0,78 \text{ MPa}$$

Conclusão: Com base nos valores acima obtidos para a resistência dos blocos à compressão e levando-se em consideração a disponibilidade do produto no mercado, adota-se, portanto, blocos de 4,0MPa.

7.3 Verificação ao Cisalhamento

Como descrito no item 6.3, a resistência ao cisalhamento é relacionada à escolha da argamassa e a tensão de pré-compressão na junta de cada parede. Neste exemplo é utilizado uma argamassa de 3,50 MPa, a qual será aplicada tanto no sentido longitudinal quanto no transversal. A tensão de pré-compressão (σ) nas juntas é a mesma tensão de compressão no bloco (f_{bk}) ponderadas com coeficiente 0,9 para ações permanentes. A resistência ao cisalhamento da parede é obtida com base na Tabela 3, ou seja:

$$f_{vk,01} = 0,15 + 0,50 \times \frac{0,46}{0,9} = 0,41 \text{ MPa}$$

$$f_{vd,01} = \frac{f_{vk,01}}{2} = 0,21 \text{ MPa}$$

$$f_{vk,03} = 0,15 + 0,50 \times \frac{0,78}{0,9} = 0,58 \text{ MPa}$$

$$f_{vd,03} = \frac{f_{vk,03}}{2} = 0,29 \text{ MPa}$$

O esforço cortante ao cisalhamento resistido pela alvenaria (V_a) pode ser obtida utilizando a equação 5, descrita no item 6.3.

$$V_{A,01} = f_{vd,01} \times b \times h = 84,84 \text{ kN}$$

$$V_{A,03} = f_{vd,03} \times b \times h = 122,05 \text{ kN}$$

O esforço cortante solicitante é a resultante do carregamento distribuído ao longo do comprimento das paredes P01 e P03, Tabela 6, ou seja.

$$V_{01} = N_{sd,01} = 54,80 \text{ kN}$$

$$V_{03} = N_{sd,03} = 113,28 \text{ kN}$$

Conclusão: Com base nos valores acima obtidos no cálculo da resistência ao cisalhamento dos blocos verifica-se que $V_{A,01} > V_{01}$ e $V_{A,03} > V_{03}$. Portanto, dispensa-se o uso de armadura de cisalhamento.

7.4 Dimensionamento da Abertura

O principal elemento estrutural presente nas aberturas de paredes de alvenaria estrutural são as vergas (canaletas “tipo U”) descrito no item 6.5.

A parede P01 possui uma abertura com dimensões apresentadas na Tabela 7 e, portanto, uma verga a ser dimensionada, com base no carregamento atuante que sobre ela se encontra, será efetuado.

Tabela 7 – Dimensões da Abertura. Fonte: Autor

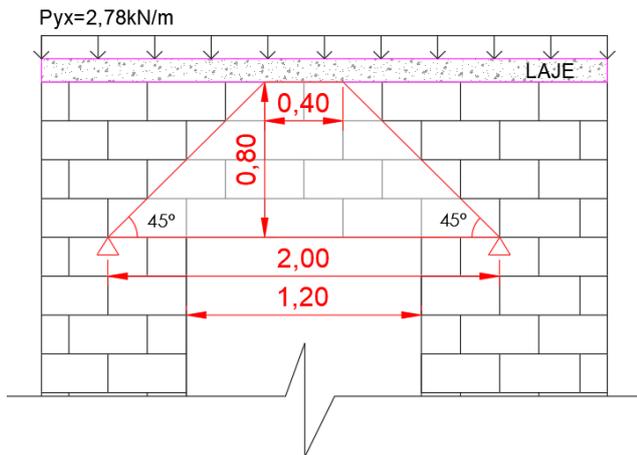
Dimensão	Valor (m)
Comprimento Horizontal	1,20
Comprimento Vertical	1,00
Peitoril	1,20

Segundo a NBR 16868-1 (ABNT, 2020), as armaduras de reforço deverão ser distribuídas ao longo de um comprimento efetivo de no mínimo 1,39m. No caso em questão, por 2,00m.

Para a obtenção da armadura de flexão da verga considerada como simplesmente apoiada, a dissipação do carregamento ocorre em um ângulo de 45 graus.

A figura 17 a seguir, exemplifica a referida situação, onde observa-se um modelo trapezoidal de dissipação de carregamento (alvenaria acima da verga) na abertura existente na alvenaria estrutural.

Figura 17 – Distribuição de cargas na abertura. Fonte: Autor.



As combinações do carregamento da laje com o peso próprio na área de influência trapezoidal, conforme mostrado na figura 17, resultam no carregamento total atuante na verga (q_{verga}), mostrados na Tabela 8 abaixo.

Tabela 8 – Carregamento na verga. Fonte: Autor

$P_{\text{laje,verga}}$ (kN/m)	$P_{\text{p.proprio,verga}}$ (kN/m)	q_{verga} (kN/m)
0,55	1,89	2,44

Para uma viga simplesmente apoiada, o momento fletor de cálculo e também o esforço cortante de cálculo, são facilmente obtidos por meio de equações de equilíbrio estático ponderados por coeficiente de segurança no Estado Limite Último.

$$Md = \frac{1,4 \cdot (q_{\text{verga}}) \cdot L_{\text{ef}}^2}{8} = 1,71 \text{ kN.m}$$

$$Vd = \frac{1,4 \times (q_{\text{verga}}) \times L_{\text{ef}}}{2} = 3,42 \text{ kN}$$

No cálculo da armadura longitudinal necessária para a verga, utilizou-se graute com resistência à compressão de cálculo (f_{cd}) de 2,24MPa, canaleta cerâmica “tipo U” de 14,0 cm de largura, altura 15,0 cm e aço CA50. Portanto, a área de aço obtida utilizando a equação 13 dada por:

$$A_s = \frac{Md}{\sigma_s d (d - 0,4x)} \quad (13)$$

Substituindo os valores para as variáveis, resulta em:

$$A_s = \frac{171,17}{50 (15 - 0,4 \cdot 10)} = 0,31 \text{ cm}^2$$

Sendo “x” o valor da linha neutra da seção, cujo cálculo foi omitido para não prolongar demasiadamente este cálculo.

Com o valor da área de aço necessária calculada, escolhe-se o diâmetro da barra a ser utilizada, ou seja, uma barra de 8,0mm ($A_s = 0,50 \text{ cm}^2$) é suficiente para atender a esse valor e conseqüentemente resistir as tensões de tração que atuam na verga.

Para o cálculo de resistência característica ao cisalhamento, dada nas equações 9 e 10, obtém-se os seguintes valores:

$$\rho = \frac{0,5}{14 \times 15} = 0,0024$$

$$f_{vk} = 0,35 + 17,50 \times 0,0024 = 0,392 \leq 0,7 \text{ Mpa}$$

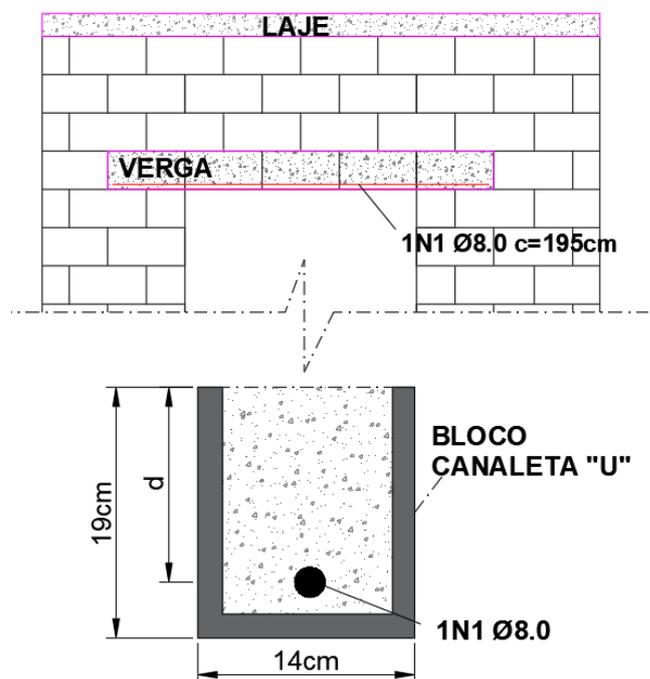
Com base na equação 5, a tensão de cisalhamento na alvenaria tem que ser menor que a resistente, ou seja:

$$\frac{Vd}{b \times d} = 162,86 \text{ kN/m}^2$$

$$\frac{Vd}{b \times d} \leq \frac{f_{vk}}{2} = 196 \text{ kN/m}^2$$

Portanto poderá ser dispensada a utilização de armaduras para o cisalhamento. A figura 18, ilustra o detalhamento da verga da parede P01.

Figura 18 – Detalhamento da canaleta U normalmente como verga em aberturas de parede. Fonte: Autor



8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apresentou-se nesse trabalho o sistema construtivo de “paredes em alvenaria estrutural”, de forma sintética, porém abrangente e sequencial.

Para o estudo proposto, utilizou-se como metodologia, além de uma significativa pesquisa bibliográfica do método construtivo desde os tempos passados até os atuais, no âmbito internacional como no nacional, além das prescrições normativas vigentes, as quais foram recorrentemente citadas ao longo do texto.

Procurou-se abordar as principais partes constantes em sua sistemática construtiva, juntamente com os elementos necessários e imprescindíveis ao projeto arquitetônico de forma clara objetiva e hierárquica. Figuras ilustrativas e tabelas presentes no texto, além de conferir um caráter explicativo, também organizaram os valores tanto dos cálculos efetuados como nos adotados de tabelas da norma.

Quanto ao cálculo do dimensionamento e principais verificações de segurança, tanto do elemento unitário estrutural (bloco) como do prisma foram realizados. Todas equações necessárias foram descritas e enumeradas sequencialmente.

Como exemplo numérico de dimensionamento e verificação, duas paredes de alvenaria estrutural foram apresentadas, sendo que uma delas contém abertura para janela e a outra não. Ambas as paredes recebem a ação de carregamento distribuído, ou seja, além de seu peso próprio, os quinhões de carga relativas ao peso de uma laje pré-fabricada do tipo treliçada.

Com a análise dos resultados numéricos obtidos no cálculo, para ambas as paredes analisadas, pôde-se verificar que a capacidade resistente das paredes é muito maior que os esforços solicitantes nelas atuantes, tanto no que diz respeito às tensões normais de compressão quanto às de cisalhamento. Esse fato fez com que armadura de aço foram prescindíveis.

Por fim, calculou-se a armadura necessária para a verga (canaleta tipo U) na abertura da parede P01,

Embora a sequência construtiva desse sistema seja diferente das construções convencionais, o que torna de certa forma um desafio a sua implantação, por outro lado a rapidez da construção, redução no uso de madeira, aço e concreto, além da economia de tempo e principalmente custo, fazem com que haja crescente demanda para os mais diversos tipos de edificações nos tempos atuais.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAUJO, J. MILTON. Alvenaria Estrutural – Apostila (FURG). Rio Grande do Sul, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 15270-1: Blocos e Tijolos para alvenaria – Requisitos. Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 16868-1: Alvenaria Estrutural – Projeto. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 16868-2: Alvenaria Estrutural – Execução e Controle de Obras. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 16868-3: Alvenaria Estrutural – Métodos de Ensaio. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 13281: Argamassa para Assentamento e Revestimento de Paredes – Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto. Rio de Janeiro, 2023.

BASTOS, P. S. Alvenaria Estrutural - Apostila (UNESP). São Paulo, 2021.

CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO. Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado - 4ª ed. Editora Edufscar. São Paulo, 2014.

DÉSIR, J. M. Alvenaria Estrutural – Dimensionamento de Elementos. Rio Grande do Sul, 2015.

MAMEDE, F.C. (2001). Utilização de pré-moldados em edifícios de alvenaria estrutural. São Carlos, 2001.

PARKESIAN, G. A.; SOARES M. M. Alvenaria Estrutural em Blocos Cerâmicos. São Paulo, 2011.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. Projeto de Edifícios de Alvenaria Estrutural. São Paulo, 2003.

RICHTER, C. Qualidade da alvenaria estrutural em habitações de baixa renda: uma análise da confiabilidade e da conformidade. São Paulo, 2007.

TAVARES, J. H. Alvenaria Estrutural: Estudo Bibliográfico e Definições. UFERSA. Mossoró-RN, 2011.

https://www.construtens.com.br/blocos_ceramicos_e_strutural39.html – acesso em 10-01-2024.

<https://dev.blogdaliga.com.br/alvenaria-estrutural-em-blocos-ceramicos/> – acesso em 12-10-2023