



Projetos e Detalhes Construtivos de Alvenaria Estrutural

Projetos e Detalhes Construtivos de Alvenaria Estrutural

Rafael Rambalducci Kerst

© 2018 por Editora e Distribuidora Educacional S.A.

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida ou transmitida de qualquer modo ou por qualquer outro meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia, gravação ou qualquer outro tipo de sistema de armazenamento e transmissão de informação, sem prévia autorização, por escrito, da Editora e Distribuidora Educacional S.A.

Presidente

Rodrigo Galindo

Vice-Presidente Acadêmico de Graduação e de Educação Básica

Mário Ghio Júnior

Conselho Acadêmico

Ana Lucia Jankovic Barduchi

Camila Cardoso Rotella

Danielly Nunes Andrade Noé

Grasiele Aparecida Lourenço

Isabel Cristina Chagas Barbin

Lidiane Cristina Vivaldini Olo

Thatiane Cristina dos Santos de Carvalho Ribeiro

Revisão Técnica

Andre Baltazar Nogueira

Ana Paula Vedoato Torres

Bárbara Nardi Melo

Editorial

Camila Cardoso Rotella (Diretora)

Lidiane Cristina Vivaldini Olo (Gerente)

Elmir Carvalho da Silva (Coordenador)

Leticia Bento Pieroni (Coordenadora)

Renata Jéssica Galdino (Coordenadora)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

K39p Kerst, Rafael Rambalducci
Projetos e detalhes construtivos de alvenaria estrutural /
Rafael Rambalducci Kerst. – Londrina : Editora e Distribuidora
Educacional S.A., 2018.
216 p.

ISBN 978-85-522-0767-2

1. Engenharia. 2. Alvenaria. 3. Construção. I. Kerst,
Rafael Rambalducci. II. Título.

CDD 720

Thamiris Mantovani CRB-8/9491

2018
Editora e Distribuidora Educacional S.A.
Avenida Paris, 675 – Parque Residencial João Piza
CEP: 86041-100 – Londrina – PR
e-mail: editora.educacional@kroton.com.br
Homepage: <http://www.kroton.com.br/>

Sumário

Unidade 1 Histórico e conceitos básicos da alvenaria estrutural	7
Seção 1.1 - Concepção geral e aspectos históricos	9
Seção 1.2 - Princípios básicos da alvenaria estrutural	25
Seção 1.3 - Componentes da alvenaria estrutural	42
Unidade 2 Concepção estrutural e distribuição de ações	59
Seção 2.1 - Ações em edifícios de alvenaria estrutural	61
Seção 2.2 - Distribuição de cargas verticais em edifícios de alvenaria estrutural	79
Seção 2.3 - Distribuição de ações horizontais em edifícios de alvenaria estrutural	97
Unidade 3 Critérios de dimensionamento	115
Seção 3.1 - Resistência das unidades e argamassa	117
Seção 3.2 - Dimensionamento de alvenaria não armada	132
Seção 3.3 - Dimensionamento de alvenaria parcialmente armada	148
Unidade 4 Metodologia Construtiva	165
Seção 4.1 - Modulação das fiadas	167
Seção 4.2 - Detalhes Construtivos e Instalações	181
Seção 4.3 - Juntas de Dilatação e de Controle	195

Palavras do autor

Prezado aluno, nesta disciplina você será apresentado à alvenaria estrutural de maneira dinâmica e com contextualizações práticas. Desse modo, este material oferece um texto básico sobre o dimensionamento das estruturas em alvenaria e seus aspectos de detalhamento e execução.

A alvenaria estrutural tem sido amplamente utilizada na construção civil porque torna a obra mais rápida e econômica. Porém, esse tipo de sistema estrutural exige planejamento e profissionais qualificados, portanto é importante entender o comportamento desses elementos e dominar suas particularidades.

Abordaremos, ainda, os principais métodos executivos e de dimensionamento para os projetos e a definição de detalhes construtivos de edificações em alvenaria estrutural. Para tal, usaremos as normas técnicas brasileiras e apresentaremos exemplos de aplicações.

Dividimos o conteúdo em quatro unidades, sendo que a Unidade 1, intitulada *Histórico e conceitos básicos da alvenaria estrutural*, consiste na abordagem de temas relacionados ao desenvolvimento histórico dos elementos e sistemas estruturais em alvenaria, envolvendo os aspectos da concepção geral, princípios básicos da alvenaria e seus componentes.

A Unidade 2, *Concepção estrutural e distribuição de ações*, aborda as informações pertinentes às ações aplicadas na estrutura de alvenaria, sua forma de distribuição das cargas nas paredes e a consideração de estruturas com função de contraventamento.

Já a Unidade 3, *Critérios de dimensionamento*, refere-se aos critérios e às metodologias de dimensionamento de alvenarias armadas e não armadas, abordadas pela norma NBR 15961-1 de 2011, propiciando ao aluno condições para analisar estruturalmente os elementos das edificações.

E a Unidade 4, *Metodologia construtiva*, apresenta as considerações essenciais ao detalhamento do projeto, bem como recomendações gerais para a sua execução – fundamental para a garantia da qualidade da edificação.

Esta disciplina é disposta de modo que fique muito próxima aos problemas que serão enfrentados por você, aluno, no dia a dia, portanto é importante dedicar-se, sanar todas as dúvidas, buscar maior conhecimento assistindo às webaulas e consultando as bibliografias indicadas. Não perca essa oportunidade, tire o maior proveito possível desse aprendizado.

Histórico e conceitos básicos da alvenaria estrutural

Convite ao estudo

Como podemos observar, atualmente a alvenaria estrutural é bastante usada como um sistema construtivo racionalizado. A tendência da industrialização do canteiro de obras visa maior produtividade, redução dos prazos e resíduos. Porém, para a alvenaria obter esse resultado, foi necessário um grande processo de evolução dos métodos antigos.

Há milhares de anos, a alvenaria tem sido empregada por várias civilizações. Em sua forma mais rudimentar, eram aplicados os materiais disponíveis na região para a construção de seus edifícios, cujo projeto era baseado em métodos empíricos, como as pirâmides de Gizé, que datam aproximadamente 2600 anos antes de Cristo.

A maioria dos edifícios antigos foram construídos de modo que o peso próprio da estrutura restringisse a existência de áreas tracionadas, o que tornava a edificação muito robusta e onerosa. Essas limitações forçaram os projetistas a buscarem novas técnicas para permitir a edificação com paredes mais esbeltas, mantendo a estabilidade da estrutura.

Atualmente existe uma série de equipamentos e ferramentas para a execução da alvenaria, além do rigoroso controle dos materiais empregados, que, aliado aos métodos racionais e precisos de dimensionamento, propicia a ampla utilização desse sistema construtivo.

Uma revisão do processo nos possibilita o conhecimento dos diferentes métodos construtivos e o melhor entendimento da evolução da alvenaria ao longo dos tempos.

○ presente texto compreende uma visão ampla do desenvolvimento das estruturas em alvenaria, seus princípios

básicos e os componentes atualmente usados. Inicialmente apresenta-se um breve histórico do desenvolvimento dessas estruturas, evoluindo até chegar às normas internacionais e nacionais.

Vamos imaginar que seu sonho desde criança fosse exercer esta profissão e que, após cursar Engenharia Civil, tenha surgido uma vaga em uma grande empresa internacional especializada em projetos estruturais, para a qual buscando seguir seu desejo, você logo se candidatou.

Algum tempo depois, uma ligação informou que você foi selecionado, porém, antes de ingressar como engenheiro civil, seria necessário realizar um programa de trainee na Europa, onde você trabalharia com restauração de edifícios antigos. Você aceita, mas como ainda não conhece muito sobre essas obras, vê-se em uma posição difícil quando as dúvidas começam a surgir.

Recém-chegado na empresa, você quer demonstrar competência e responsabilidade, assim começa a se informar sobre o assunto, mas não deixa de se perguntar qual a relação desse treinamento com o trabalho que você irá realizar para a empresa. Por que deve conhecer esses edifícios antigos, se você não utilizará os mesmos materiais para projetar os edifícios atuais?

Após o período de treinamento, se você se sair bem, terá sua vaga garantida na empresa. Logo, dedique-se ao estudo dos aspectos históricos, identificando os princípios básicos da alvenaria estrutural e entendendo o conceito desse sistema e seus componentes, visando a aplicação nos dias atuais.

Seção 1.1

Concepção geral e aspectos históricos

Diálogo aberto

A alvenaria estrutural utilizada hoje é fruto de um grande processo evolutivo dos métodos de edificação. Dessa maneira, para compreender melhor esse sistema estrutural é necessário conhecer sua herança histórica e seu desenvolvimento ao longo dos anos.

Lembre-se: você foi selecionado no programa de trainee de uma grande empresa internacional, e seu treinamento será na Europa com a restauração de edifícios antigos. Entretanto, você ainda não conhece muito sobre essas construções, e se vê em uma posição difícil quando as dúvidas começam a surgir.

A partir dos fatos narrados, imagine que na primeira semana de treinamento você é enviado a Aosta, na Itália. A cidade se mostra fascinante, repleta de monumentos da época romana. Em seu trabalho, você e seu coordenador vão realizar uma inspeção em uma ponte em arco, constituída de pedras.

Um dos trabalhadores que acabou de ingressar em sua equipe apresenta dúvidas em relação à função estrutural dessa ponte. Você é o engenheiro trainee e se sente responsável por responder essas questões. Seu coordenador está do seu lado, sendo uma boa oportunidade para mostrar seu conhecimento.

Explique a ele por que a ponte possui a forma de arco, qual a contribuição da forma para vencer os vãos e qual o motivo de não ter sido adotado o sistema estrutural de vigas e pilares.

Para solucionar a situação-problema, será preciso compreender o conceito de alvenaria estrutural e os elementos tradicionais de construções.

Não pode faltar

Aspectos históricos

A alvenaria estrutural é um sistema construtivo, caracterizado pelo uso de paredes como principal estrutura de suporte. A parede

é elaborada assentando-se os blocos uns sobre os outros. Devido à simplicidade de execução, é encontrada nas estruturas mais antigas feitas pelo homem, com alguns monumentos concebidos há milhares de anos.

Desde épocas remotas, a alvenaria tem sido utilizada por várias civilizações. Em sua forma mais rudimentar, eram aplicados os materiais disponíveis na região para a construção dos edifícios, sendo o projeto baseado em métodos empíricos e nos conhecimentos adquiridos ao longo dos anos. A argamassa, quando existia, era composta pelo próprio solo.

Um exemplo de edificação deste período é Cairn de Barnenez, ilustrado na Figura 1.1. Trata-se de um monumento pré-histórico localizado na França, considerado uma das estruturas mais antigas feitas pelo homem, construída aproximadamente em 4800 a.C.

Figura 1.1 | Entrada de Cairn de Barnenez, Bretanha, França



Fonte: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cairn_of_Barnenez_-_Chamber_entrance.JPG>. Acesso em: 14 ago. 2017.



Muitas dessas estruturas históricas foram construídas há mais de 6000 anos, e existem ainda hoje. Pesquise mais sobre Necrópoles de Bougon, Monte d'Accoddi e outras estruturas históricas. Busque analisar o que as fazem resistir até os dias atuais. Além de saciar a curiosidade, essa pesquisa o ajudará a entender a concepção estrutural da época.

Com o desenvolvimento de novas tecnologias, introduziram-se outros materiais como a cal e a pozolana, e as pedras começaram a ser lapidadas em formas retangulares, permitindo melhor controle de acabamento e o uso de juntas mais finas.

Durante a propagação do Império Romano, a alvenaria foi empregada nas construções de pontes, aquedutos, templos e demais edificações, o que contribuiu significativamente para sua disseminação pela Europa.

Alguns exemplos desse período ainda existem. Um deles é a Pont du Gard, situada no sul da França, a qual possui três níveis: o mais baixo foi utilizado para o tráfego de cavalos; o superior, destinado a pedestres; e o último funcionava como um canal de águas. Devido à inexistência de uma tubulação capaz de resistir às altas pressões, os romanos transportavam a água em canais abertos, construídos com alvenaria estrutural.

Ainda, podemos destacar os castelos, que desempenharam um papel fundamental na história e na cultura dos povos europeus, sendo construídos como mecanismo de defesa dos feudos. Alguns deles permanecem até hoje como testemunhos vivos da história.

Durante os séculos 19 e 20, a maioria dos edifícios em alvenaria estrutural ainda eram construídos de modo que o peso próprio da estrutura impedisse ou reduzisse os esforços de tração, o que tornava a construção muito robusta e onerosa.

Entre eles, destaca-se o Edifício Monadnock em Chicago, que possui 17 pavimentos e ainda está em uso. Na época foi considerado como limite dimensional máximo para as estruturas em alvenaria. Suas paredes chegavam a ter 1,80 m de espessura na base. Segundo Ramalho e Corrêa (2003), se esse edifício tivesse sido dimensionado pelos procedimentos atuais, suas paredes possuiriam espessura inferior a 30 cm, empregando os mesmos materiais da época.

Essas limitações forçaram os projetistas a buscarem novas formas para permitir a edificação com paredes mais esbeltas, mantendo a estabilidade da estrutura. Assim, somente a partir de 1950 conseguiram reduzir a espessura da parede para 15 cm, o que fez com que aumentasse o interesse pela alvenaria estrutural.

Elementos tradicionais de construção

- Pirâmides

As pirâmides são um dos principais exemplos da utilização de alvenaria estrutural em construções históricas de grande porte. Sua geometria é formada por uma base alargada de seção quadrada e com quatro lados triangulares.

De acordo com Becker (1974), essa forma consiste na evolução das tumbas, que eram construções planas, em formato de caixa, e depois foram acrescentados novos níveis ao topo da caixa, formando degraus. Conforme aumentava-se a altura, via-se a necessidade de ir alargando a base, dando assim o aspecto piramidal à construção.

As pirâmides, além de representar uma das formas mais estáveis conhecidas, ainda são favorecidas pela distribuição do peso em sua grande base, fazendo com que fossem empregadas por várias civilizações. Assim, esse tipo de construção pode ser encontrado na Mesopotâmia, China, Grécia, América do Norte, entre outros. Porém, apesar de existirem em várias partes do mundo, os egípcios se destacam levando a execução das pirâmides a um novo patamar com a construção do complexo de Gizé.

A grande pirâmide foi durante muito tempo a edificação mais alta feita pelo homem, construída aproximadamente em 2560 anos a.C., sendo que inicialmente sua altura era de 146,5 metros. Estima-se que foram usados 2,3 milhões de blocos, possuindo uma massa prevista em 5,9 milhões de toneladas.



Refleta

Será que as pirâmides eram construções eficientes? Com a grande massa que elas apresentavam, era possível a existência de grandes vãos internos?

- Paredes

As paredes, por serem elementos verticais, contêm uma quantidade bem menor de material que as pirâmides, tornando-as um elemento mais viável. Muitas cidades aproveitavam as paredes para mecanismo de defesa na construção de castelos, muralhas, fortes e presídios.

Para garantir a estabilidade dessas edificações, eram empregados enrijecedores pouco espaçados, que proviam maior resistência às cargas verticais e aumentavam sua rigidez lateral. Assim, mesmo não possuindo uma geometria tão estável quanto as pirâmides, sua estabilidade era possível.

Algumas vezes, ainda, as paredes externas das edificações eram concebidas de maneira que seu peso próprio fosse suficiente para garantir sua estabilidade, sem a utilização dos enrijecedores. Quando isso ocorria, as paredes externas possuíam grande espessura, visando garantir que, mesmo durante a atuação de uma força horizontal, o peso da estrutura restringiria a existência de áreas tracionadas.

- Torres e colunas

Uma seção ainda mais econômica em termos de materiais pode ser encontrada nas torres e colunas, que na maioria das vezes eram usadas nas construções de faróis.

O farol é uma estrutura elevada com a função de avisar os navegadores que estavam se aproximando de terra. Por serem obras verticais de grandes alturas, estavam sob constante influência do vento. Dessa maneira, o esforço crítico na estrutura era o momento produzido pelos esforços horizontais, assim a forma mais eficiente para combatê-lo era concentrar os materiais nas extremidades em que atuavam as tensões máximas.

O farol mais antigo que se tem registro é o Farol de Alexandria, construído entre 280 - 247 a.C., que possuía cerca de 120 metros de altura.

- Pilares e vigas

O uso de pórticos com pilares e vigas é um dos sistemas construtivos mais antigos. Inicialmente era constituído de pedras e madeiras, devido a sua abundância na natureza, e se desenvolveu a partir do empilhamento desses materiais. Seu aproveitamento ia além da construção de residências, também eram empregados em pontes, templos e outras edificações.

Nessa técnica primitiva, os vãos criados pela estrutura eram sustentados por grandes peças. Em razão da pedra ser um material frágil e possuir baixa resistência à tração, os vãos usados nesse tipo de construção precisavam ser curtos.

No Parque Nacional de Exmoor, na Inglaterra, é possível ver alguns exemplares de pontes pré-históricas, como a ilustrada na Figura 1.2. As chamadas Tarr Steps são pontes feitas por grandes placas de pedras achatadas, apoiadas em estruturas de pedras ao longo do rio. A ponte é formada por 17 vãos e possui um comprimento de 55 metros. As placas de pedras achatadas chegam a pesar cerca de 2 toneladas cada.

Figura 1.2 | Ponte primitiva Tarr Steps, Somerset, Inglaterra



Fonte: <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tarr_Steps_\(6660208287\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tarr_Steps_(6660208287).jpg)>. Acesso em: 14 ago. 2017.

Buscando vencer grandes vãos era necessária a utilização de vigas maiores. Outro problema encontrado, a limitação de cargas horizontais nas colunas, fazia com que as construções fossem relativamente baixas e apresentassem grande espessura.

Mesmo diante de tais limitações, os gregos usaram o sistema de pórticos de pedras para criar imponentes templos. Entre eles,

destaca-se o Parthenon, construído cerca de 438 a.C. Conforme Norwich (2001), esse é considerado o mais perfeito templo dórico já construído. Sua estrutura é constituída inteiramente de mármore, sustentado por 46 colunas com diâmetros de 1,80 m e altura de 10,4 m, possuindo aproximadamente distância entre colunas de 4,60 m.



Assimile

Podemos observar que, das estruturas mais simples às mais complexas, o sistema de pórticos em alvenaria possuía muitas limitações. Devido à necessidade de controlar as tensões de tração, os elementos se tornavam muito robustos, o que impedia a construção de grandes vãos e deixava onerosas as edificações.

- Arcos

Diante do desafio de cobrir espaços com grandes dimensões, destacava-se o uso do arco. Este possui um comportamento estrutural vantajoso quando comparado a elementos fletidos, pois, além de economia de material, a curvatura introduz um significativo ganho de resistência, que permite cobrir um espaço com grandes extensões.

O arco pode ser definido como um elemento estrutural curvo, que transmite as cargas a dois apoios, conduzindo seu carregamento principalmente por meio de força normal de compressão. No entanto, os primeiros arcos a serem construídos não atingiam toda a eficiência que essa forma poderia prover. Nunes (2009) salienta que nos arcos primitivos ou falsos arcos a solidarização dos esforços se dava pelo seu peso próprio e a estrutura não funcionava por meio de sua geometria.

Ao longo do tempo, foi desenvolvido o sistema de fiadas em balanço, que consiste em uma estrutura na qual a fiada superior era colocada de maneira que ficasse projetada acima da fiada inferior, formando um pequeno balanço, e assim era conduzido até o fechamento do arco. Conforme apresentado na Figura 1.3, um exemplo histórico pode ser encontrado em Arpino, na Itália.

Figura 1.3 | Arco de fiadas em balanço, Arpino, Itália



Fonte: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Arco_a_sesto_acuto.jpg>. Acesso em: 14 ago. 2017.

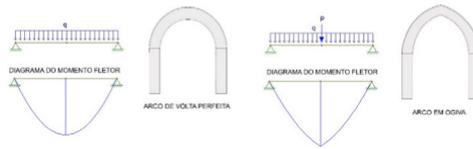
Um importante avanço nas estruturas ocorreu com a introdução dos arcos verdadeiros. Em virtude de sua forma esse tipo de arco possui como característica a ausência de flexão. Seu modelo pode ser analiticamente obtido através da analogia com uma viga biapoiada, em que aplicado o carregamento, o diagrama de momento fletor da viga indica a forma que o arco deve possuir para não haver flexão.



Exemplificando

Através do carregamento e da analogia do diagrama dos momentos fletores da viga, pode-se conseguir várias formas de arcos verdadeiros. Por exemplo, seja q uma carga distribuída na estrutura, representando seu peso próprio, e P uma carga aplicada, representando um elemento qualquer, assim obtém-se o diagrama do momento fletor para cada situação, como visto na Figura 1.4.

Figura 1.4 | Esquema de carregamento e formas dos arcos

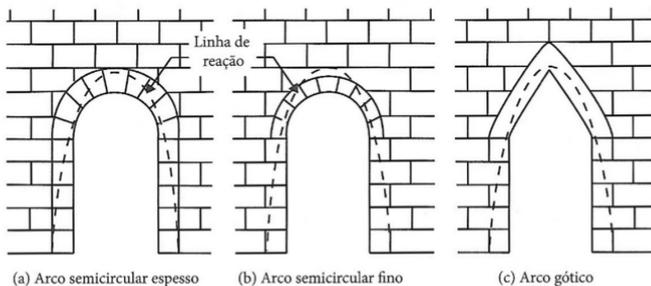


Fonte: elaborada pelo autor.

A forma do arco perfeita é obtida invertendo-se o diagrama de momento fletor. Assim, para cada situação de carregamento é encontrada a forma ideal. Os arcos de volta perfeita são muito usados nos aquedutos romanos, enquanto o arco em ogiva é característico do estilo gótico.

Esses modelos de arco foram largamente utilizados durante o Império Romano. Mesmo quando as estruturas não possuíam a forma exata do arco verdadeiro, seus elementos eram espessos o suficiente, de modo que o efeito de arco era introduzido dentro dessas peças, fazendo com que a estrutura trabalhasse comprimida, de acordo com a Figura 1.5. Um dos pontos negativos desse sistema era que a estrutura permanecia instável até que a última peça fosse colocada, necessitando assim de escoramento durante sua execução.

Figura 1.5 | Linha de empuxo, representando a forma do arco verdadeiro



Fonte: Parsekian; Hamid; Drysdale (2013, p. 42).

Assim, os romanos conseguiram executar pontes, anfiteatros, aquedutos e muitas outras obras que exigiam espaços com grandes dimensões, o que representava um significativo avanço para o sistema construtivo. Um de seus exemplos mais famosos é a já citada Pont du Gard, uma edificação de três níveis, construída cerca de 19 a.C., que funcionava como aqueduto para transportar água pelo Vale de Gardon a Nîmes. Essa estrutura apresenta vãos de até 24 metros.

- Abóbodas e cúpulas

As abóbodas e cúpulas são elementos derivados a partir de um arco, podendo ser pela sua rotação em torno do eixo central, gerando uma cúpula, ou pela translação lateral, formando uma abóboda. Esse tipo de elemento apresenta comportamento muito semelhante ao arco, sendo que, quando gerado a partir do arco real, não indica esforços de flexão em sua superfície, favorecendo seu uso na cobertura de grandes espaços.

Porém, mesmo com a capacidade de vencer grandes vãos, as abóbodas e cúpulas representavam um imenso desafio de engenharia, pois, assim como os arcos, sua estrutura permanecia instável até a finalização de sua construção, necessitando de escoramento. Ainda, esses elementos produziam uma grande força de empuxo, por isso na maioria das construções era preciso utilizar contrafortes nas extremidades.

Esse sistema construtivo teve um considerável avanço durante o período gótico, em que as catedrais passaram a substituir seu teto de madeira por abóbodas de pedra, e muitos exemplos podem ser encontrados ainda hoje. Entre eles, destaca-se a Catedral de Notre-Dame, situada em Paris, que foi construída entre os anos de 1163 e 1345, tornando-se uma das principais referências do estilo gótico.

Desenvolvimento da alvenaria estrutural no Brasil

Como vimos, a alvenaria estrutural passou por um longo processo de evolução até chegar à forma que conhecemos. No Brasil, essa tecnologia construtiva demorou para ser empregada, e as primeiras construções ocorreram somente no início da década de 1960, sendo que apenas a partir da década de 1970 a alvenaria passou a ser tratada como uma tecnologia de engenharia, dando início às pesquisas.

Segundo Parsekian, Hamid e Drysdale (2013), foi no final dos anos de 1980 que a alvenaria estrutural no nosso país deixou de ser construída e projetada empiricamente e passou a ser dimensionada a partir de conceitos técnicos e detalhada de maneira racional, pois já estava presente no mundo há 60 anos.

Atualmente, essa tecnologia vem ganhando muito espaço como um meio de alcançar uma redução dos custos dos empreendimentos sem perder em qualidade. Novos processos construtivos, normas atualizadas e materiais foram desenvolvidos, de modo que este se tornou um sistema construtivo racionalizado, o que foi essencial para a consolidação do seu uso.

Desenvolvimento das normas internacionais e brasileiras

Durante o processo de evolução da alvenaria estrutural houve a necessidade de se estabelecer normas que regessem a aplicação e o dimensionamento com base em métodos racionais e precisos.

Um importante avanço pode ser observado na revisão da norma britânica CP 111 em 1948, esta, apesar de ser considerada nos dias atuais muito conservadora, para a época representava grande progresso, uma vez que, anteriormente, as edificações eram construídas de acordo com métodos empíricos, gerando construções muito robustas e inviabilizando o projeto.

Após a revisão da CP 111, outras normas e estudos foram surgindo, principalmente nos Estados Unidos e Canadá, fazendo com que no ano de 1978 fosse publicada a primeira lei que incluía conceitos baseados no Método das Tensões Admissíveis. Novos estudos trouxeram significativo avanço para o sistema de alvenaria, transformando-o no que conhecemos hoje.

Atualmente, as normas internacionais de maior relevância são criadas pelo Masonry Standards Joint Committee. Existe também um grande número de normas nacionais que determinam o projeto, execução e controle de seus componentes. Destacam-se para blocos de concreto as seguintes:

- NBR 15961-1: Alvenaria Estrutural – blocos de concreto – Parte 1: Projetos.
- NBR 15961-2: Alvenaria Estrutural – blocos de concreto – Parte 2: Execução e controle de obras.
- NBR 6136: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural.
- NBR 12118: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Métodos de ensaios

Sem medo de errar

Como podemos observar, cada sistema construtivo desempenhou um importante papel em nossa história, possuindo individualmente suas vantagens e desvantagens. Assim, era necessário otimizar a forma da estrutura a ser empregada, para que ela trabalhasse de modo a atingir o objetivo da edificação.

Você está vivendo uma experiência profissional única no exterior, e seu primeiro desafio é responder com propriedade o questionamento de um dos colaboradores. Explique a ele por que algumas pontes possuem a forma de arco, qual a contribuição da forma para vencer os vãos e por que não foi adotado o sistema estrutural de vigas e pilares.

Esclareça que essas pontes são construções feitas pelos romanos e eram marcadas pelo uso de blocos de granitos, ocasionando a necessidade de limitar as tensões de tração na seção. Assim, grande parte das formas possíveis de serem concebidas por eles apresentavam alto consumo de material. No caso de estruturas em arco, as tensões de tração eram muito baixas ou inexistentes, o que se mostrava um grande benefício, pois, além de maior economia, ainda era possível desfrutar de uma arquitetura mais agradável, acarretando ampla utilização desse elemento pelos romanos.

A forma do arco, mostrada na Figura 1.6, oferece uma contribuição fundamental para a sua capacidade de vencer grandes vãos. A curvatura imposta estabelece o equilíbrio da estrutura simplesmente pelo seu peso próprio, fazendo com que a carga seja transmitida aos apoios pelo esforço normal de compressão, o que proporcionava economia de material e introduzia um significativo ganho de resistência.

Figura 1.6 | Ponte em arco, Aosta, Itália



Fonte: <<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pont-Saint-Martin-Ponte-DSCF8379.JPG>>. Acesso em: 14 ago. 2017.

Parsekian, Hamid e Drysdale (2013) declaram que esse tipo de estrutura, com resistência à compressão de 42 Mpa, poderia vencer um vão de 800 metros antes do esmagamento de uma das pedras. Entretanto, em termos práticos, o arco perderia sua estabilidade lateral com vãos bem menores que o da Figura 1.6.

No caso do sistema estrutural de vigas e pilares, existem atualmente algumas pontes construídas com esse método, como a ilustrada na Figura 1.7.

Figura 1.7 | Ponte com sistema de vigas e pilares



Fonte: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lovely_concrete_bridge_near_Merthyr_Mawr_Bridgend_Wales_-_panoramio.jpg>. Acesso em: 12 ago. 2017.

Porém, para que se tornasse viável sua execução, houve um longo processo de desenvolvimento de materiais e métodos de cálculo que permitissem a aplicação de novos elementos que suportassem as tensões de tração. Com os materiais e tecnologias disponíveis na época, a execução desse sistema se tornava inviável, uma vez que o esforço de flexão nesse elemento é preponderante e causa altas tensões de tração.

Assim, utilizando a forma de arco, os romanos conseguiram executar pontes, anfiteatros, aquedutos e muitas outras obras que exigiam espaços sem obstáculos e com grandes dimensões.

Definindo a forma do arco

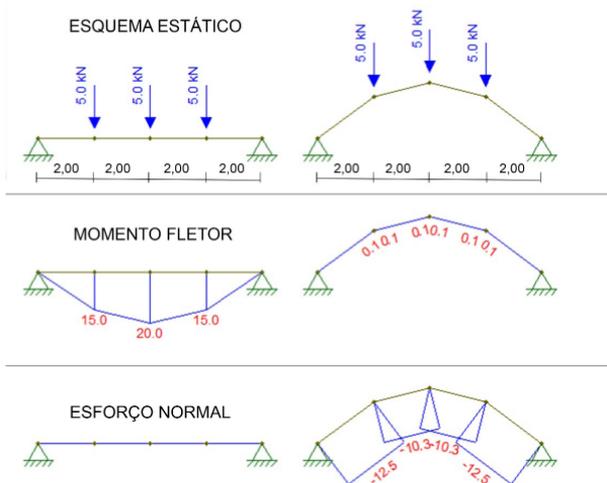
Descrição da situação-problema

Uma construtora o procurou solicitando uma consultoria de análise de substituição de uma viga por um arco. Trata-se de uma viga biapoiada com vão de 8 metros, com três cargas aplicadas de 5 kN cada, distanciadas a 2, 4 e 6 metros do apoio. Você precisa saber quais os esforços existentes caso substitua essa viga por um arco, considerando apenas as cargas aplicadas.

Resolução da situação-problema

Dessa maneira, primeiramente devemos calcular os diagramas para a viga biapoiada, para então definirmos a forma do arco invertendo o diagrama de momento fletor da viga. Assim, garantimos que o arco irá trabalhar somente a compressão. Definida sua forma, prosseguimos com o cálculo dos diagramas dos esforços solicitantes, obtendo os resultados dispostos na Figura 1.8.

Figura 1.8 | Esquema de carregamento em viga



Fonte: elaborada pelo autor.

Podemos observar pela ilustração que no arco a carga aplicada é transmitida aos apoios por meio do esforço normal de compressão,

não havendo flexão. Portanto, conclui-se que a forma definida funciona como arco verdadeiro.

Nesse exemplo, desconsideramos o carregamento distribuído ocasionado pelo peso próprio da estrutura. Porém, caso fosse considerado, o arco iria adquirir maior curvatura, conforme o diagrama de momento fletor da viga, aproximando-se a forma de uma parábola.

Faça valer a pena

1. A alvenaria desempenhou um importante papel em nossa história. Seu sistema construtivo influencia nossa arquitetura até os dias atuais. Um exemplo é a utilização de colunas gregas em edificações contemporâneas. Desse modo, é fundamental conhecermos as características desse sistema construtivo e sua evolução. Acerca da alvenaria usada como sistema estrutural, assinale a alternativa correta:

- a) A alvenaria possui como característica principal o uso da parede como elemento de vedação, possuindo a função de dividir os ambientes suportando apenas seu peso próprio.
- b) A alvenaria é um sistema construtivo relativamente novo e pouco aproveitado. Seu uso visa somente a redução de custos da obra, portanto é usada apenas em residências populares.
- c) A alvenaria foi um sistema muito utilizado pelos romanos. Essa civilização possuía o domínio das técnicas de dimensionamento, o que permitia construções de paredes estruturais com apenas 15 cm de espessura, sendo largamente empregada na edificação de castelos.
- d) A alvenaria é um sistema construtivo muito antigo, que permitiu às civilizações, há milhares de anos, construir pontes, templos, aquedutos e outras edificações de grande relevância.
- e) A alvenaria é considerada um sistema construtivo racionalizado. Porém, as técnicas de dimensionamento e construção atuais ainda são as mesmas que foram aplicadas pelos gregos.

2. Na alvenaria estrutural a forma é essencial, pois define a distribuição das cargas na estrutura. Portanto, ela está intimamente relacionada com o objetivo da edificação, tornando-se necessário entender e analisar as características dos principais elementos da construção, para então conceber estruturas mais otimizadas.

Quanto às características de cada forma, é correto afirmar que:

- a) As pirâmides representam uma das formas mais estáveis conhecidas, sendo beneficiadas também pela distribuição de seu peso em uma imensa

área, fazendo com que fosse possível a existência de grandes espaços internos sem utilização de apoios intermediários.

b) O sistema de paredes foi muito empregado em virtude de sua facilidade de execução e baixo custo. Muitas vezes esses elementos eram usados como mecanismo de defesas na construção de castelos e fortes.

c) O sistema de pilares e vigas foi amplamente usado na construção de imponentes templos. A grande resistência à flexão proporcionava a esses elementos maior facilidade em vencer grandes vãos, favorecendo as edificações de grande porte.

d) O arco verdadeiro foi muito aplicado na construção de pontes. Em consequência da sua forma, as cargas eram transmitidas aos apoios principalmente pelo esforço de flexão.

e) As abóbodas e cúpulas são elementos empregados na cobertura de grandes espaços e foram muito utilizadas devido à facilidade de sua execução.

3. O Edifício Monadnock representou um marco importante no desenvolvimento do sistema de alvenaria estrutural, possuindo a parede externa com cerca de 1,80 m de espessura na base e, na época, foi considerado como limite dimensional. Atualmente existem muitos edifícios com alturas maiores e apresentando paredes com espessuras inferiores a 30 cm. No entanto, para que isso fosse possível teve que acontecer um grande processo evolutivo.

A respeito das mudanças ocorridas no sistema de alvenaria, identifique nas opções abaixo a alternativa correta.

a) A aplicação da barra de ferro no sistema de alvenaria estrutural foi fundamental para a existência de edificações altas com espessura de parede inferior a 30 cm, sendo impossível sua construção com paredes não armadas.

b) A evolução do sistema construtivo se deu principalmente pelas pesquisas, que permitiram a criação de normas atualizadas e domínio das técnicas de dimensionamento.

c) Uma importante evolução foi a invenção dos blocos de concreto com capacidade de resistência à compressão superior às rochas utilizadas antigamente, permitindo edificações de grande porte.

d) O emprego de argamassa nas juntas de alvenaria passou a ser fundamental para garantir a estabilidade da estrutura, uma vez que elas possuem resistência à compressão maior que os blocos de alvenaria utilizados.

e) As construções baseadas em métodos empíricos, como os usados no Edifício Monadnock, comprovaram-se ao longo dos anos como uma excelente maneira de se projetar estruturas, por sua praticidade e pela grande economia de material.

Seção 1.2

Princípios básicos da alvenaria estrutural

Diálogo aberto

Prezado aluno, conforme visto na seção anterior, o sistema de alvenaria estrutural passou por uma grande evolução. Porém, o conceito estrutural desse sistema ainda se mantém muito semelhante.

A alvenaria estrutural apresenta muitas vantagens diante dos sistemas construtivos tradicionais. No entanto, sua incorreta utilização compromete a racionalização e pode torná-la mais onerosa que os demais. Assim, é importante conhecer os princípios básicos da alvenaria estrutural para conseguir identificar quando seu emprego é vantajoso e quais considerações devem ser feitas na fase de projeto e execução da obra.

Lembre-se, você está participando de um treinamento na Europa com a restauração de edifícios antigos. A empresa na qual você trabalha está encarregada da restauração de um muro de um dos castelos da cidade. Ao chegar ao local você constata que parte das pedras da base foram retiradas por vândalos, por isso os funcionários que trabalham no castelo estão com medo da instabilidade da parede.

Desse modo, cabe a você avaliar se essa estrutura está estável ou se são necessários reparos na base. Você e sua equipe tiram as medidas do local e calculam as forças verticais e horizontais aplicadas.

Força do vento: $1,0 \text{ kN/m}^2$; Peso específico da parede: 20 kN/m^3 ; Altura do muro: $4,0 \text{ m}$; Espessura do muro no topo: $1,4 \text{ m}$; Espessura do muro na base: $1,1 \text{ m}$.

Sabendo que nesse tipo de estrutura a estabilidade é garantida pelo peso próprio, você deve analisar o muro segundo a linha de empuxo e verificar qual deveria ser a espessura mínima da base da parede.

Para solucionar a situação-problema, é preciso compreender o conceito básico da alvenaria estrutural.

Não pode faltar

Conceito estrutural básico

O conceito estrutural do sistema de alvenaria permanece muito semelhante ao utilizado em seus primórdios, com a estrutura dimensionada de modo a limitar os esforços de tração.

A principal ideia desse sistema é que as paredes possuam função estrutural, cujas forças solicitantes são transmitidas ao apoio principalmente por meio do esforço de compressão.

Assim, através de uma análise simplificada de equilíbrio de forças, é possível verificar a estrutura quanto à sua estabilidade.



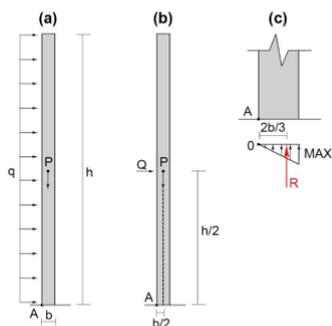
Exemplificando

Suponha que você queira descobrir mais facilmente qual a espessura mínima que a parede representada na Figura 1.9(a) deve ter para que não exista esforço de tração na seção. Considere que a força q representa uma carga distribuída de vento, e seja P a força devida ao peso próprio da estrutura, e R a força devida à reação no apoio.

Assim, para que não haja tração em nenhuma parte da seção, a estrutura deve estar equilibrada. Logo, temos que a somatória dos momentos no ponto A é igual a 0. Assim, encontramos o esquema de forças aplicadas indicado na Figura 1.9(b).

Sabe-se ainda que, como o momento na base varia de 0 a um valor máximo, tem-se então uma distribuição de tensões triangular, e para esta seção a resultante se encontra a dois terços da base, logo há a distribuição definida na Figura 1.9(c).

Figura 1.9 | Esquema de carregamento na parede



Fonte: elaborada pelo autor.

$$P = \gamma \cdot b \cdot h$$

$$Q = q \cdot h$$

Fazendo o equilíbrio das forças verticais, temos:

$$\sum F_V = 0$$

$$P - R = 0$$

$$P = R$$

Fazendo do momento no ponto A, temos:

$$\sum M_A = 0$$

$$Q \cdot \frac{h}{2} + P \cdot \frac{b}{2} - R \cdot \frac{2b}{3} = 0$$

Substituindo R por P:

$$\frac{Q \cdot h}{2} - \frac{P \cdot b}{6} = 0 \rightarrow P \cdot b = 3 \cdot Q \cdot h \rightarrow \gamma \cdot b^2 \cdot h = 3 \cdot Q \cdot h \rightarrow b = \sqrt{\frac{3 \cdot Q}{\gamma}}$$

Assim, para uma parede de altura de 4,0 m, considerando a carga do vento de valor igual a 0,3 kN/m², e o peso próprio da estrutura calculado considerando um peso específico da parede igual a 20 kN/m³, temos:

$$b = \sqrt{\frac{3 \cdot 0,3 \cdot 4}{20}} \rightarrow b = 0,42m$$

Nesse caso, a parede deve ter no mínimo 42 cm para que não ocorra esforço de tração na base.



Refleta

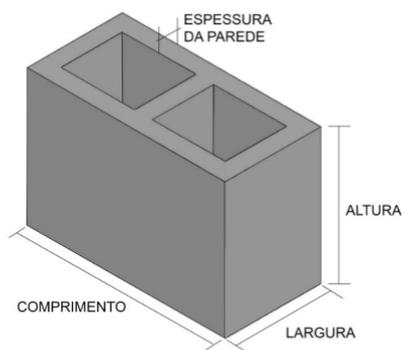
Nota-se que para mantermos a seção completamente comprimida é necessária uma espessura muito grande. Porém, muitas obras podem ser observadas com espessuras bem inferiores a esta. Qual seria o fator que possibilita a estabilidade dessas estruturas?

Esse modo de análise gera estruturas muito robustas, o que levou os projetistas a buscarem meios mais econômicos, reduzindo a espessura da parede e mantendo sua segurança. Para que a alvenaria estrutural

fosse considerada hoje uma solução viável, houve grande avanço nos métodos de cálculo, nas técnicas construtivas e em materiais usados.

Atualmente a unidade da alvenaria possui um rigoroso controle de produção, com dimensões padronizadas e resistências pré-definidas. A Figura 1.10 traz as definições dimensionais do bloco de concreto normatizado.

Figura 1.10 | Definições dimensionais do bloco de concreto



Fonte: elaborada pelo autor.

Quando levamos em consideração o mecanismo estrutural, podemos dividir esse sistema em dois tipos: alvenaria estrutural não armada; alvenaria estrutural armada.



Assimile

- No sistema de alvenaria não armada, a concepção da estrutura não permite a existência de áreas tracionadas, assim são tradicionalmente aplicadas em edificações de pequenos portes.
- No sistema de alvenaria armada, o emprego da armadura permite a existência de zonas tracionadas, fornecendo à estrutura maior capacidade de carga, portanto a solução pode ser adotada em edifícios de até 20 pavimentos.

Aspectos técnicos e econômicos da alvenaria estrutural

A alvenaria estrutural é um sistema racionalizado que possui dupla função: estrutural e vedação. Nesse sistema muitas vezes é dispensado o uso de pilares e vigas, gerando grande economia à construção. No entanto, sua incorreta utilização pode comprometer a eficiência do sistema e torná-lo mais oneroso que os demais. Desse

modo, é importante atentar para alguns aspectos técnicos envolvidos na escolha do sistema estrutural.

Um dos pontos em destaque são as aberturas, como janelas e portas. Estas devem ser previamente estudadas na concepção estrutural do edifício, uma vez que reduzem significativamente a capacidade de carga das paredes. Assim, nos pontos de abertura é relevante o deslocamento das cargas com o emprego de vergas e contravergas. Além disso, é interessante que os vãos estejam na mesma posição em todos os pavimentos, pois seus desencontros reduzem ainda mais a resistência das paredes.

Vale destacar também que um projeto arquitetônico será mais econômico à medida que apresente formas repetitivas e tenha paredes coincidentes em seus pavimentos, evitando a utilização de elementos de transição.

A concepção do projeto deve permitir a modulação dos cômodos considerando as dimensões da unidade de alvenaria. Assim, o processo de construção se torna racionalizado, proporcionando um método construtivo rápido e eficiente. A modulação é considerada fundamental, uma vez que os blocos estruturais possuem um custo unitário maior que os blocos de vedação, sendo que seu desperdício pode inviabilizar o uso do sistema.

De acordo com Ramalho e Corrêa (2003), outro aspecto econômico essencial é a limitação da altura da edificação para prédios de até 15 ou 16 pavimentos, sendo que, para estruturas mais altas, passa a existir a necessidade de um grauteamento generalizado das paredes, o que torna o sistema muito oneroso. Outro fator relevante citado é o seu uso. Ele deve ser limitado a estruturas com alta densidade de paredes e pequenos vãos internos, como edificações de médio e baixo padrão.

Principais pontos positivos e negativos da alvenaria estrutural

O desempenho econômico do sistema está associado principalmente com a compatibilidade entre o projeto e as características da alvenaria. Quando planejado, levando em consideração os aspectos técnicos, o sistema proporciona grandes vantagens em relação aos processos tradicionais, como:

- Economia de materiais.

Uma vez que a alvenaria vem pronta, dispensa o emprego de formas de madeira e promove a redução no uso de concreto e ferragens. Como não são permitidos rasgos na parede, a quantidade de material desperdiçado é menor.

- Redução na mão de obra.

Uma vez que o sistema dispensa o emprego de formas e armações, promove redução também na mão de obra com carpinteiros e armadores.

- Maior velocidade e facilidade de construção.

Quando o emprego da alvenaria estrutural é aliado com o uso de lajes pré-moldadas, o progresso da obra não depende do tempo de cura dos elementos, como no caso das estruturas tradicionais. Dessa maneira a construção consegue ser concluída mais rapidamente.

Segundo Parsekian, Hamid e Drysdale (2013), a alvenaria estrutural proporciona uma economia de até 30% para prédios baixos de quatro andares e 5% para edifícios altos, com cerca de 20 pavimentos.

Os principais pontos negativos da alvenaria estrutural são:

- Impossibilidade de efetuar modificações na disposição arquitetônica original.

Como as paredes desempenham função estrutural, não é possível a modificação da arquitetura original.

- O projeto arquitetônico fica mais restrito.

O projeto arquitetônico, quando utilizado o sistema de alvenaria, deve seguir as modulações permitidas pela unidade, além de ficar restringido a vãos pequenos e com grande densidade de paredes.

- Compatibilidade entre projetos.

Em qualquer sistema construtivo deve existir a compatibilidade entre projetos, principalmente arquitetônico, estrutural, elétrico e hidráulico. Porém, nesse sistema o problema é ainda maior, uma vez que não podem ser feitos rasgos na parede, e todos os projetos devem ser otimizados visando a execução sem interferência na estrutura.



Toda edificação deve atender o propósito para que foi construída. Assim, é incorreto afirmar que um sistema construtivo representa a melhor solução para todos os casos. Cabe ao engenheiro a ponderação dos pontos positivos e negativos de cada sistema, para então realizar a escolha do melhor sistema estrutural para cada caso.

Principais aspectos quanto à modulação

A modulação dos ambientes é necessária para alcançarmos uma construção eficiente e econômica. Esta inicia-se na concepção do edifício, na qual é determinado um módulo padrão, que é a menor dimensão a ser ajustada nos compartimentos da edificação. Na alvenaria, deve-se levar em consideração as dimensões apresentadas pelo bloco.

O módulo mais adequado a ser escolhido é aquele que melhor se adapte à arquitetura preestabelecida. Porém, é interessante que o comprimento seja múltiplo da largura, pois assim pode-se ter uma única dimensão padrão, o que facilita as amarrações entre paredes.

Assim, o arranjo arquitetônico da edificação é realizado a partir das dimensões da unidade do bloco a ser empregado, visando redução dos cortes e ajustes das paredes. A dimensão modular é obtida pela largura do bloco e seu comprimento, considerando uma junta de 1 cm.



Podemos obter a dimensão modular dos principais blocos a partir da dimensão nominal. Assim, encontramos as dimensões dos vãos no projeto, conforme indicados pela Tabela 1.1.

Tabela 1.1 | Modulações mais comuns

DIMENSÃO MODULAR	DIMENSÃO NOMINAL	DIMENSÃO DOS VÃOS NO PROJETO
15 x 30	14 x 29	Todos múltiplos de 15 cm
20 x 40	19 x 39	Todos múltiplos de 20 cm
15 x 40	14 x 39	Em geral, múltiplos de 20 cm

Fonte: Parsekian; Hamid; Drysdale (2013, p. 139).

Portanto, devemos atentar para a modulação das portas e janelas. Normalmente elas são escolhidas de acordo com a família de bloco adotada.

Para a dimensão modular 15 x 30, temos que a dimensão dos vãos no projeto deve ser múltiplos de 15 cm, dessa maneira poderíamos escolher uma janela com vão de 1,50 m e altura de 1,20 m, respeitando a modulação horizontal de 15 cm e a vertical de 20 cm.

Outras modulações ainda são possíveis, usando diferentes famílias de blocos, como 15 x 40, 20 x 40 e 12,5 x 40.

Podemos separar a modulação em dois tipos: horizontal e vertical. A primeira é limitada pelo comprimento e largura do bloco, enquanto a segunda é limitada pela altura do bloco.

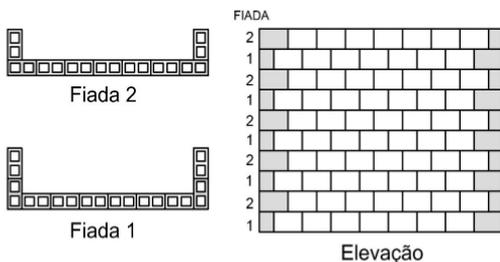
- Modulação horizontal

O módulo horizontal adotado é dado pela largura do bloco, ou seja, para o bloco 14 x 29, temos uma dimensão modular de 15 x 30, conforme exposto na Tabela 1.1, assim o módulo horizontal seria 15 cm, indicando que as dimensões internas dos ambientes em planta devem ser múltiplas de 15 cm.

Um ponto importante são os encontros das paredes, pois além da concentração de tensões, existe a transferência de cargas de uma parede para a outra. Por esse motivo é interessante realizar a amarração entre elas, utilizando fiadas alternadas, como na Figura 1.11.

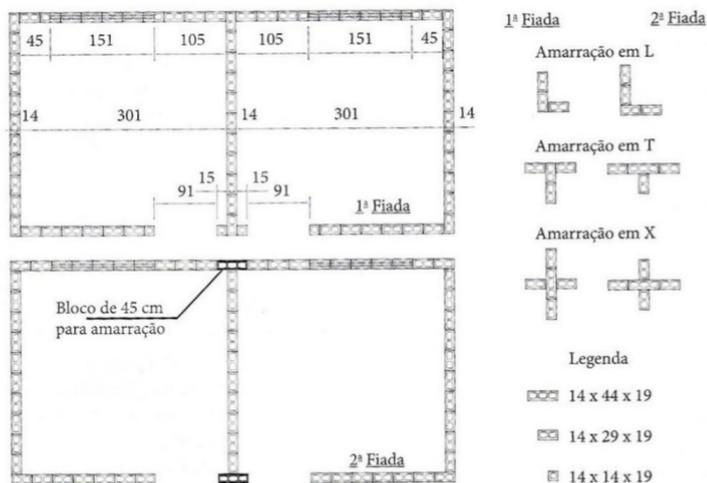
As fiadas das paredes devem ser organizadas de modo a se evitar ao máximo as juntas a prumo. Isso significa alternar as fiadas para que a junta da fiada superior seja afastada até a metade do bloco (Figura 1.11).

Figura 1.11 | Exemplo de modulação horizontal



Usando várias combinações de blocos da mesma família é possível modular ambientes inteiros, resolvendo os encontros entre paredes com diferentes tipos de amarrações, segundo a Figura 1.12.

Figura 1.12 | Coordenação modular em planta para blocos de 14 x 29



Fonte: Parsekian; Hamid; Drysdale (2013, p. 140).

Quando não é possível a modulação somente com o bloco padrão, utilizam-se ainda os compensadores. Esses blocos são disponíveis com espessura nominal de 4 cm, permitindo pequenos ajustes na modulação. Porém, é importante ressaltar que qualquer adaptação que precise ser feita na alvenaria poderá causar perda de racionalidade e atraso dos processos construtivos.



Pesquise mais

Existem disponíveis no mercado diversos tamanhos de blocos para nos auxiliarem na modulação dos ambientes. Pesquise mais sobre os tipos de blocos mais utilizados e busque analisar como são empregados na modulação.

- Modulação vertical

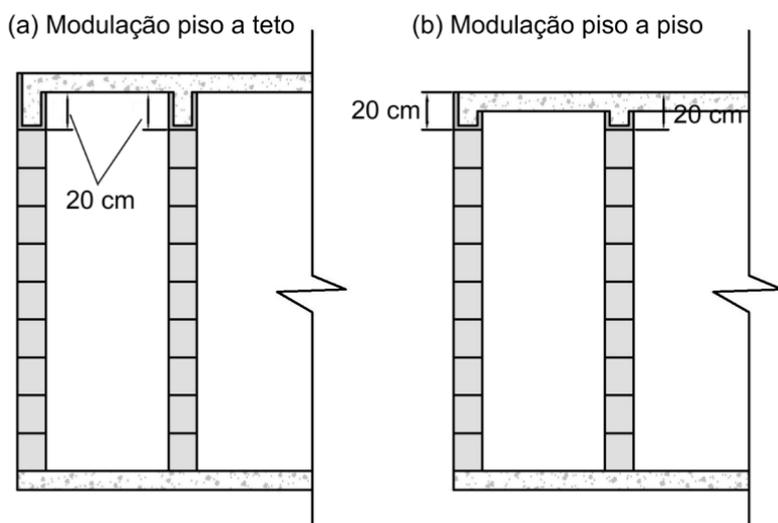
No caso da modulação vertical, o ajuste da distância do piso ao teto deve ser feito considerando a altura do bloco, ou seja, na maioria dos casos, a altura do bloco é 20 cm, então a altura entre piso e teto deve ser múltipla de 20 cm.

Esse tipo de modulação tem o objetivo de definir a altura dos elementos, como portas, janelas e pé-direito. Quanto ao pé-direito, destacam-se dois métodos de modulação vertical: piso ao teto e piso a piso.

A primeira forma é a mais eficiente, uma vez que não precisa de recortes dos blocos. A distância modular é aplicada do piso ao teto, sendo empregado um bloco J na última fiada das paredes de extremidade; já as paredes internas terão a última fiada constituída pelo bloco canaleta, conforme a Figura 1.13(a).

Na segunda forma, a distância modular é dada de piso a piso, sendo usado o bloco J de alturas reduzidas na última fiada das paredes de extremidade. Já as paredes internas terão a última fiada constituída de blocos compensadores, de acordo com a Figura 1.13(b).

Figura 1.13 | Tipos de modulações verticais



Fonte: elaborada pelo autor.

A modulação também deve considerar a passagem de dutos nas paredes, uma vez que estas não podem ser cortadas, pois, além de aumentar os gastos com material e mão de obra, essas paredes desempenham função estrutural, impossibilitando qualquer tipo de redução de seção. A melhor alternativa para prever as passagens é a utilização de *shafts*, contudo alguns cuidados devem ser tomados

no projeto arquitetônico, como projetar cozinhas e banheiros próximos, a fim de agrupar ao máximo as instalações.

Sem medo de errar

Como podemos observar, a alvenaria estrutural fornece muitas vantagens econômicas e construtivas, porém devemos atentar ao seu funcionamento e às particularidades para evitar a ocorrência de falhas que tornem a estrutura insegura.

Lembre-se: você está participando de um treinamento na Europa e é responsável pela restauração de um muro de um dos castelos da cidade. Ao chegar ao local, você constata que parte das pedras da base foram retiradas por vândalos e cabe a você avaliar se essa estrutura está estável ou se são necessários reparos.

Para tal, considere: Força do vento (q): 1 kN/m^2 ; Peso específico da parede (γ): 20 kN/m^3 ; Altura do muro (H): 4 m ; Espessura do muro no topo: $1,4 \text{ m}$; Espessura do muro na base: $1,1 \text{ m}$.

Você calcula os esforços atuantes na estrutura e elabora o esquema ilustrado na Figura 1.14.

- Cálculo da força devido ao peso próprio:

$$P = \gamma \cdot A$$

$$PQ = 20 \cdot 1,1 \cdot 4 \rightarrow PQ = 88 \text{ kN}$$

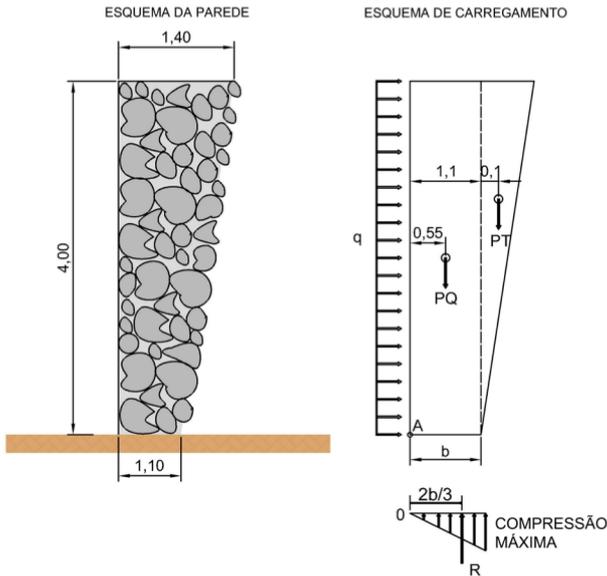
$$PT = \frac{20 \cdot (1,4 - 1,1) \cdot 4}{2} \rightarrow PT = 12 \text{ kN}$$

- Cálculo da força devido ao vento:

$$Q = q \cdot H$$

$$Q = 1 \cdot 4 \rightarrow Q = 4 \text{ kN}$$

Figura 1.14 | Esquema da parede e carregamentos



Fonte: elaborada pelo autor.

Em que R representa a força resultante da reação no apoio. Assim, fazendo o equilíbrio das forças verticais temos:

$$\begin{aligned} \sum F_v &= 0 \\ PQ + PT - R &= 0 \\ PQ + PT &= R \rightarrow 100 \text{ kN} \end{aligned}$$

Como o muro do castelo é constituído de pedras, a transmissão das solicitações ao apoio deve ocorrer exclusivamente por meio de esforços de compressão, uma vez que esse material possui baixa resistência à tração. Assim, para que não haja tração em nenhuma parte da seção, o peso próprio da estrutura deve garantir seu equilíbrio.

Logo, temos que a somatória do momento no ponto A é igual a 0. Fazendo a somatória dos momentos no ponto A, temos:

$$\begin{aligned} \sum M_A &= 0 \\ PQ \cdot 0,55 + PT \cdot 1,2 + Q \cdot 2,0 - R \frac{2 \cdot b}{3} &= 0 \end{aligned}$$

$$88,0,55 + 12,1,2 + 4,2,0 - 100 \frac{2 \cdot b}{3} = 0$$

$$\frac{200 \cdot b}{3} = 70,8 \rightarrow b = 1,06m$$

Nessas condições é determinado que o muro é considerado estável desde que possua a base maior que 1,06 m. Como a base inferior possui 1,10 m, conclui-se que a estrutura permanece estável.

Avançando na prática

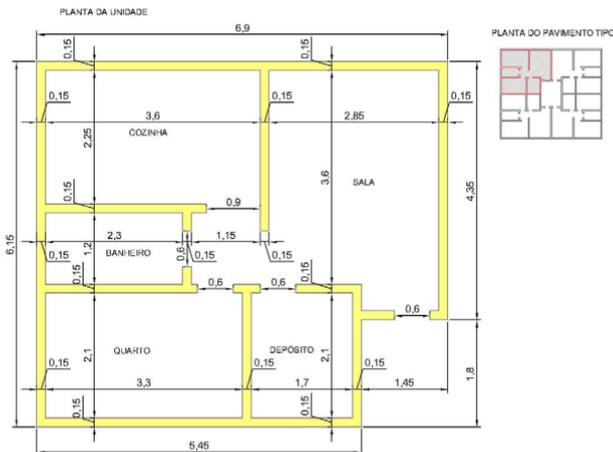
Estudo de viabilidade do sistema de alvenaria estrutural

Descrição da situação-problema

Um investidor o procurou buscando um parecer técnico a respeito do sistema construtivo de um empreendimento. Ele pretende construir um edifício de 10 pavimentos, com 4 unidades em cada andar, conforme esboço na Figura 1.15, e gostaria de saber se o sistema de alvenaria estrutural seria vantajoso nesse caso.

A partir do esboço apresentado, forneça seu parecer técnico indicando se o projeto está adequado para o uso do sistema de alvenaria estrutural e quais alterações no projeto seriam necessárias.

Figura 1.15 | Esboço do pavimento tipo do empreendimento



Fonte: elaborada pelo autor.

Ainda, o fato de o banheiro se localizar próximo à cozinha proporciona grande vantagem na instalação hidráulica, permitindo o uso de apenas um *shaft* hidráulico abastecendo os dois ambientes.

Diante das considerações levantadas, você elabora um parecer favorável ao investidor. Nesse caso o uso do sistema de alvenaria estrutural se mostra vantajoso, principalmente se as modificações sugeridas forem empregadas. Assim, a utilização dos blocos poderá ser feita de forma racionalizada, evitando cortes e compensadores.

Faça valer a pena

1. As edificações são constituídas por estruturas, que têm função de garantir suporte para as cargas que irão solicitá-las oferecendo segurança sem perder sua integridade. A partir da análise do conceito estrutural básico da alvenaria, é possível compreender como o sistema estrutural reflete no desempenho da edificação nos auxiliando na escolha da forma estrutural mais eficiente.

Sobre o conceito estrutural básico da alvenaria, marque V para verdadeiro ou F para falso:

() No sistema de alvenaria estrutural, as paredes possuem função de vedação, enquanto as vigas e pilares são os principais responsáveis pela transmissão das cargas aos apoios.

() No sistema de alvenaria estrutural, as paredes possuem função estrutural, onde o encaminhamento das forças solicitantes é transmitido ao apoio principalmente por meio do esforço de compressão.

() A alvenaria estrutural não armada não permite a existência de áreas tracionadas na estrutura, assim é tradicionalmente aplicada em edificações de pequeno porte.

() Na alvenaria estrutural armada, o emprego da armadura permite a existência de zonas tracionadas, fornecendo à estrutura maior capacidade de carga.

(.....) O sistema de alvenaria não usa pilares e vigas, oferecendo economia de material e mão de obra. Desse modo, sempre representará a solução estrutural mais econômica, independentemente da maneira que for executado e do tipo da edificação.

Assinale a alternativa que apresenta a sequência correta:

- a) F - F - V - F - V.
- b) F - V - F - V - V.
- c) V - V - F - V - F.
- d) F - V - V - V - F.
- e) V - V - V - V - F.

2. A estrutura é parte fundamental da edificação, pois delimita os espaços internos e provém sua estabilidade. Dessa maneira, elas estão intimamente relacionadas com a função para a qual a edificação foi projetada, devendo atender não somente a forma arquitetônica, mas também todo o conjunto de sistemas funcionais da edificação. Assim, conhecer os principais pontos positivos e negativos da alvenaria é considerado pré-requisito para a correta escolha do sistema estrutural.

Nesse contexto, avalie as seguintes afirmações:

I. Mesmo as paredes desempenhando função estrutural, é possível a modificação da arquitetura original.

II. Uma grande economia pode ser obtida quando o projeto arquitetônico segue as modulações permitidas pela unidade.

III. Um dos aspectos mais importantes desse sistema é a compatibilização entre os projetos, que deve prever exatamente a localização das paredes hidráulicas, ou a utilização de shafts, e indicação do sistema elétrico, evitando recortes na estrutura.

IV. Como o sistema dispensa o emprego de formas e armações, promove redução também na mão de obra com carpinteiros e armadores.

V. O emprego da alvenaria estrutural depende da cura dos elementos, o que implica maior tempo de obra se comparada com as estruturas tradicionais.

Sobre os principais pontos positivos e negativos da alvenaria estrutural, assinale a alternativa correta:

- a) As afirmativas I e III estão corretas.
- b) As afirmativas I e IV estão corretas.
- c) As afirmativas II e III estão corretas.
- d) As afirmativas I, II e IV estão corretas.
- e) As afirmativas II, III e IV estão corretas.

3. A modulação do projeto compreende a adoção de um módulo padrão que define as medidas dos espaços a serem construídos. Ela racionaliza o processo de construção, proporcionando um método construtivo rápido e econômico. Para a adoção correta do módulo, é necessário conhecermos alguns aspectos técnicos da modulação.

Sobre os principais aspectos quanto à modulação, assinale a alternativa CORRETA:

- a) A dimensão modular é obtida pela espessura da parede do bloco e sua largura, considerando uma junta entre as unidades de 1 cm.
- b) A modulação horizontal é limitada pela espessura da parede e largura do bloco, enquanto a vertical é limitada pela altura do bloco.

- c) As juntas a prumo representam um importante fator para a eficácia do sistema estrutural, pois oferecem maior uniformidade na parede, garantindo uma melhor solidarização entre os elementos.
- d) O módulo horizontal adotado é dado pela largura do bloco, ou seja, para o bloco 14 x 29, assim temos uma dimensão modular de 15 x 30.
- e) No caso da modulação vertical, o ajuste da distância do piso ao teto deve ser feito considerando a largura do bloco, ou seja, na maioria dos casos, a largura do bloco é 29 cm, então a altura entre piso e teto deve ser múltiplo de 15 cm.

Seção 1.3

Componentes da alvenaria estrutural

Diálogo aberto

Caro aluno,

A alvenaria é um sistema estrutural formado por quatro componentes básicos, que influenciam diretamente na resistência e no comportamento da estrutura. Os componentes são a menor parte constituinte dos elementos da estrutura. Assim, em se tratando da alvenaria, temos os blocos, a junta de argamassa, o graute e a armadura, que unidos formarão os painéis da edificação responsáveis por direcionar as solicitações até a fundação. Desse modo, conhecer bem as propriedades e aplicabilidade de cada componente é fundamental para projetarmos uma edificação.

Para isso, nesta seção iremos conhecer as várias unidades disponíveis no mercado e onde devem ser aplicadas, assim como teremos uma ideia básica de resistência dos componentes e a função desempenhada por cada um dentro do sistema de alvenaria estrutural.

Lembre-se: você estava participando de um treinamento na Europa restaurando edifícios antigos. Seis meses depois, o programa de treinamento acaba e você é contratado pela empresa, exercendo o cargo de engenheiro civil em sua cidade.

Seu supervisor teve conhecimento do seu excelente trabalho realizado no exterior e lhe delegou sua primeira tarefa. Agora você é responsável por um edifício de quatro andares, que está iniciando a fase de execução das paredes de alvenaria estrutural. Assim, uma de suas atividades é explicar aos colaboradores da obra como e quais blocos devem ser empregados, e os traços utilizados. Nesse caso, faça um esboço demonstrando como se deve empregar os blocos inteiros, meio bloco, canaleta, canaleta J. Ainda, indique um traço para a argamassa e o graute a ser usado.

Para solucionar a situação proposta, é necessário compreender a aplicabilidade das unidades, da argamassa, do graute e das armaduras. Portanto, dedique-se ao estudo dos componentes

básicos da alvenaria, identificando o comportamento e a função dentro do esqueleto estrutural da edificação.

Não pode faltar

Unidade

A alvenaria estrutural é formada por uma unidade básica, chamada de bloco. Ela define as características do sistema, influenciando desde a modulação da arquitetura até a resistência final da estrutura.

O conjunto de blocos e dos demais componentes da alvenaria formam as paredes, que delimitam os ambientes da edificação. Quando utilizado um sistema racionalizado, as dimensões dessas paredes são definidas a partir de um módulo que facilita a execução e permite uma construção mais econômica. Uma vez que a modulação constitui peça fundamental para a racionalização do sistema construtivo, é muito importante o conhecimento dos tipos de blocos disponíveis no mercado para que possamos realizar uma modulação mais otimizada, adequada às dimensões dos ambientes.

Entre os principais tipos de blocos destacam-se os de concreto e de cerâmica, variando quanto à forma, com seção maciça ou vazada, e quanto à geometria, sendo que esta define as famílias dos blocos, sendo as mais comuns: 15 x 30; 15 x 40; 20 x 40; 12,5 x 40; 12,5 x 25.

As dimensões nominais de cada bloco e suas designações são padronizadas pela norma NBR 15961-2 (ABNT, 2011), reproduzida na Tabela 1.2.

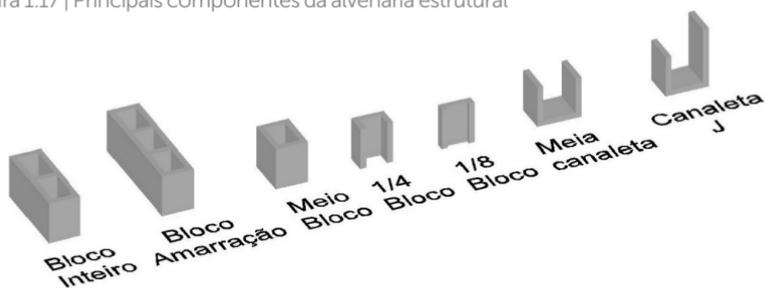
Tabela 1.2 | Dimensões padronizadas

Dimensões nominais (cm)	Designação	Dimensões padronizadas (mm)		
		Largura	Altura	Comprimento
20 x 20 x 40	M-20	190	190	390
20 x 20 x 20		190	190	190
15 x 20 x 40	M-15	140	190	390
15 x 20 x 20		140	190	190

Fonte: ABNT (2011, p. 42).

Existe, ainda, uma grande variedade de componentes, cuja função é auxiliar na modulação e facilitar a execução das estruturas. A Figura 1.17 apresenta as formas mais usuais.

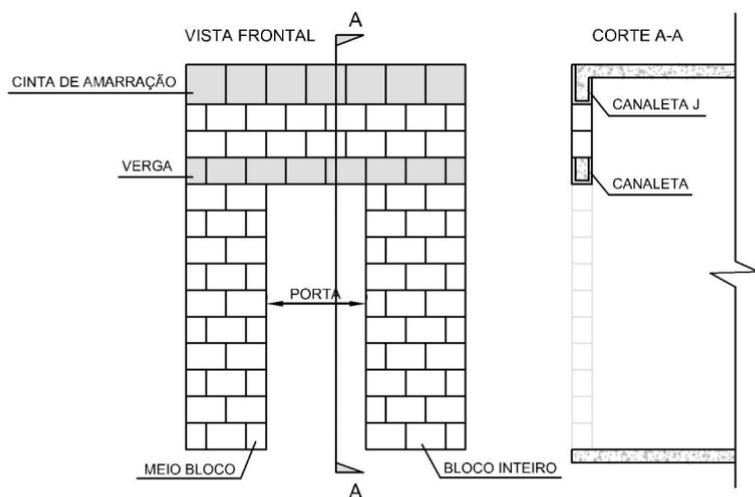
Figura 1.17 | Principais componentes da alvenaria estrutural



Fonte: elaborada pelo autor.

Alguns blocos possuem funções específicas, como os do tipo canaleta. Eles são normalmente empregados na execução de vergas, contravergas e cintamentos. Já o bloco canaleta J é muito utilizado na última fiada da alvenaria, recebendo a laje em sua parede de menor altura para que a concretagem da laje resulte na mesma altura que a parede da face externa do bloco, proporcionando melhor acabamento do conjunto. Os demais blocos são geralmente usados para ajudar a modulação, permitindo maior variedade de dimensões dos cômodos. Na Figura 1.18 pode ser visto um exemplo de aplicação dos principais elementos de alvenaria.

Figura 1.18 | Exemplo de aplicação de alguns tipos de blocos

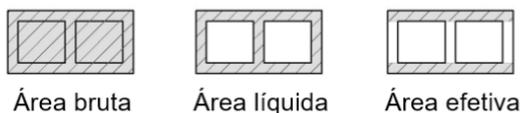


Fonte: elaborada pelo autor.

A resistência à compressão das unidades depende de sua área. Assim, a norma NBR 15961-1 (ABNT, 2011) estabelece a diferença entre as áreas bruta, líquida e efetiva, de acordo com a Figura 1.19:

- Área bruta: área de um componente ou elemento, considerando-se as suas dimensões externas, desprezando-se a existência dos vazados.
- Área líquida: área de um componente ou elemento, com desconto das áreas dos vazados.
- Área efetiva: parte da área líquida de um componente ou elemento, sobre a qual efetivamente é disposta a argamassa.

Figura 1.19 | Definição das áreas bruta, líquida e efetiva



Fonte: elaborada pelo autor.



Refleta

Qual seria a diferença entre considerar a resistência da alvenaria segundo a área bruta ou área líquida? A resistência obtida a partir da área bruta representa de maneira direta a capacidade resistente do material?

A resistência mínima característica à compressão (f_{bk}) referente à área bruta permitida pela NBR 6136:2016 é obtida a partir da Tabela 1.3, conforme a classificação quanto ao uso da alvenaria. Assim, a referida norma define as seguintes classes de utilização:

- Classe A: com função estrutural para uso em elementos de alvenaria acima ou abaixo do nível do solo.
- Classe B: com função estrutural para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo.
- Classe C: os blocos de 65 mm de largura têm uso restritivo para alvenaria sem função estrutural. Permite-se o uso do bloco com função estrutural para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo, com largura de 90 mm para edificações de no máximo um pavimento, com largura de 115 mm para edificações de no máximo dois pavimentos, com largura de 140 mm e 190 mm para edificações de até cinco pavimentos.

Tabela 1.3 | Requisitos para resistência característica à compressão, absorção e retração

Classificação	Classe	Resistência característica à compressão axial (Mpa) ^a	Absorção %				Retração ^d %
			Agregado normal ^b		Agregado leve ^c		
			Individual	Média	Individual	Média	
Com função estrutural	A	$f_M \geq 8,0$	$\leq 9,0$	$\leq 8,0$	$\leq 16,0$	$\leq 13,0$	$\leq 0,065$
	B	$4,0 \leq f_M < 8,0$	$\leq 10,0$	$\leq 9,0$			
Com ou sem função estrutural	C	$f_M \geq 3,0$	$\leq 11,0$	$\leq 10,0$			

^a Resistência característica à compressão axial obtida aos 28 dias.
^b Blocos fabricados com agregado normal (segundo definição da NBR 9935).
^c Blocos fabricados com agregado leve (segundo definição da NBR 9935).
^d Ensaio facultativo.

Fonte: ABNT (2016, p. 7).

É importante ressaltar que antes do início da obra, devem ser feitos os ensaios de resistência à compressão dos materiais, dos componentes e da alvenaria, segundo a norma NBR 15961-2 (ABNT, 2011), a fim de garantir a resistência determinada no projeto.



Pesquise mais

Os ensaios realizados antes do início da obra são fundamentais para garantir que o comportamento estrutural definido no projeto seja atingido pelos materiais utilizados em obra. Assim, pesquise mais sobre quais ensaios devem ser feitos com a finalidade de apurar a resistência dos blocos. Para isso, use a NBR 12118 (ABNT, 2013).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 12118**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Métodos de ensaios. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

Argamassa

A argamassa na alvenaria estrutural, assim como nas estruturas tradicionais, é uma mistura homogênea de agregados, aglomerantes e

água, contendo ou não aditivos ou adições. Usualmente é constituída por cimento, areia, cal e água. Essa mistura possui propriedades que fornecem aderência de um bloco sobre o outro, permitindo um apoio uniforme que facilita o assentamento e compensa as variações dimensionais das unidades.

Sua aplicação é feita na região de contato entre os blocos, de maneira que a ligação seja solidarizada, uniformizando as tensões e absorvendo eventuais deformações.

Parsekian, Hamid e Drysdale (2013) recomendam a especificação da resistência à compressão da argamassa (f_a) dentro de uma faixa de 0,7 a 1,5 vezes o valor f_{bk} , sendo que o valor ideal deve ser próximo ao limite inferior quando a carga predominante é vertical, e próxima ao limite superior quando a ação lateral é a predominante.

O traço utilizado na fabricação determinará as características da argamassa, devendo assim ser escolhido com muita atenção pelo projetista. Alguns traços e suas respectivas resistências são sugeridos na Tabela 1.4.

Tabela 1.4 | Alguns traços, resistência à compressão e uso de argamassa de cimento, cal e areia

Traço (cimento:cal:areia) em volume	Resistência à compressão esperada aos 7 dias (Mpa)	Resistência à compressão esperada aos 28 dias (Mpa)	Uso recomendado
1 : 0,25 : 2,5	9 a 11	14 a 17,5	(1)
1 : 0,5 : 3,5 a 4,5	5 a 7,5	8,5 a 12,5	(2)
1 : 1 : 4,5 a 6,0	2 a 3	3,5 a 5	(3)
1 : 2 : 9	1 a 1,5	2 a 2,5	(4)
1 : 3 : 12	0,2 a 0,3	0,4 a 0,5	(5)

1- Argamassa de alta resistência e conseqüentemente baixa deformabilidade, recomendada apenas para alvenaria de resistência muito elevada (blocos acima de 20 Mpa). Pode eventualmente ser necessária para elementos enterrados e ambientes muito agressivos com presença de sulfatos.

2- Uso geral em elementos em contato com o solo e os que estão sujeitos a ação laterais predominantes.

3- Resistência à compressão moderada e boa deformabilidade. Recomendada para alvenarias não enterradas de resistência à compressão média e ação lateral não predominante (blocos de até 6,0 Mpa).

4- Baixa resistência à compressão, adequada apenas para alvenaria de vedação ou eventualmente para reparo de edificações históricas.

5- Baixa resistência à compressão, eventualmente adequada apenas para alvenaria de vedação ou, ainda, para reparo de edificações históricas.

Fonte: adaptada de Parsekian; Hamid; Drysdale (2013, p. 206).

A escolha do traço deve buscar as características adequadas para sua aplicação evitando, por exemplo, o uso de argamassas de baixa resistência à compressão para paredes estruturais e de argamassas de alta resistência à compressão no assentamento de pisos.

Graute

O graute é um componente da alvenaria constituído pela mistura de cimento, cal, areia, brita 0 e água. Possui alta fluidez, sendo usado para preenchimento dos espaços vazios dos blocos. Sua função é solidarizar as armaduras à alvenaria ou aumentar sua capacidade resistente para que atinja a especificada no projeto.

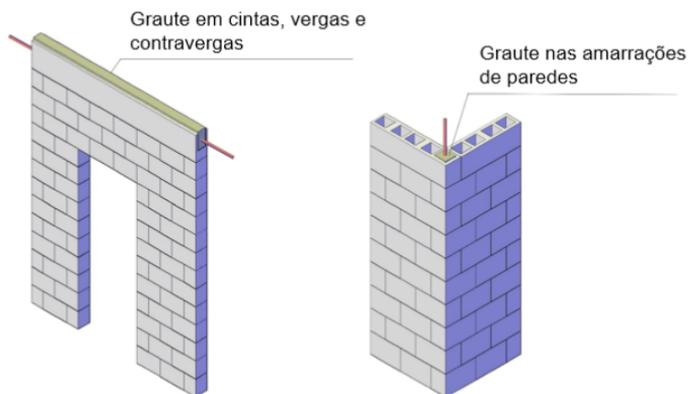


Assimile

A elevada fluidez provém da maior relação água/cimento, sendo especialmente necessária na utilização de blocos de concreto, uma vez que eles absorvem água rapidamente, provocando grande redução da relação água/cimento no graute. Assim, o slump deve ser definido considerando a absorção do bloco, além da temperatura e umidade ambiente.

O graute, ilustrado na Figura 1.20, é usado no preenchimento dos blocos canaletas e canaletas J para formar elementos como cintas, vergas e contravergas. Eventualmente é utilizado para preenchimento dos vazados verticais nos blocos, visando aumentar a resistência à compressão do conjunto, sendo aplicado principalmente na região de encontro das paredes, onde o grauteamento ainda melhora a solidarização da amarração.

Figura 1.20 | Exemplo de utilização de graute



Fonte: elaborada pelo autor.

Para estimar a resistência à compressão inicial do graute (f_{gk}), Parsekian, Hamid e Drysdale (2013) indicam que a resistência se situe dentro de uma faixa de 2,0 a 2,5 vezes o valor f_{bk} , sendo indicado aproximar esse valor para as classes de resistência do concreto. Segundo a NBR 15961-1 (ABNT, 2011), para elementos de alvenaria armada, a resistência à compressão característica mínima a ser especificada é de 15 MPa.

A partir do valor de resistência à compressão pode ser definido o traço a ser utilizado na confecção do material. Alguns traços de graute obtidos por meio de ensaios são apresentados na Tabela 1.5.

Tabela 1.5 | Resultado de alguns traços de graute

Traço (volume) cimento: cal:areia: brita 0	Traço (massa) cimento: cal:areia: brita 0	Relação Água/ Cimento	Resistência característica à compressão (MPa)	Slump (cm)
1 : 0,1 : 2,4 : 2,2	1 : 0,06 : 2,55 : 2,28	0,70	17,6	22
1 : 0,1 : 1,8 : 1,8	1 : 0,06 : 2,28 : 2,28	0,62	23,1	
1 : 0,1 : 1,5 : 1,6	1 : 0,06 : 2,12 : 2,02	0,58	25,4	
1 : 0,1 : 1,0 : 1,3	1 : 0,06 : 1,42 : 1,64	0,45	35,9	

Fonte: adaptada de Parsekian, Hamid; Drysdale (2013, p. 219).



Exemplificando

Para um bloco com resistência à compressão de 12,5 MPa, podemos estimar uma resistência à compressão do graute de duas vezes o valor f_{bk} , resultando em 25,0 MPa. Usando a Tabela 1.3, é possível estimar um traço que ofereça essa resistência, dado em volume de 1:0,1:1,5:1,6, sendo cimento, cal, areia e brita 0 respectivamente.

A utilização de cal proporciona maior trabalhabilidade e ajuda a prevenir problemas de retração, porém deve ser limitada a 10% do volume em relação ao cimento. O excesso de cal na massa pode provocar o surgimento de patologias na alvenaria, uma vez que seu processo de hidratação é uma reação expansiva e ocorre após o endurecimento do graute, ocasionando fissuras na estrutura.

Com a finalidade de garantir resistência à compressão especificada no projeto, a normatização brasileira exige que o graute seja ensaiado conforme a NBR 5739 (ABNT, 2007).

Para assegurar que a massa utilizada ainda possua as características desejáveis, a norma NBR 15961-2 (ABNT, 2011) determina que o graute deve ser usado dentro de 2 horas e 30 minutos, contados a partir da adição de água.

Armaduras

A armadura na alvenaria estrutural tem a função de resistir aos esforços de tração e cisalhamento, aumentando a resistência dos elementos estruturais e evitando o surgimento de fissuras.

Os tipos mais comuns de armaduras usados no sistema de alvenaria são as barras de aço CA-50, também empregadas no sistema tradicional de concreto armado, e as treliças, utilizadas na armação das canaletas. As armaduras podem ser envolvidas pelo graute, quando usadas nas canaletas ou vazios verticais, ou por argamassa, no caso de uso nas juntas de assentamento.

O diâmetro máximo permitido das barras é de 25 mm para utilização nos vazios da alvenaria e 6,3 mm nas juntas de assentamento, devendo ainda respeitar a taxa máxima de armadura por furo, que deve ser inferior a 8% da seção grauteada. Sobre o módulo de elasticidade do aço, a NBR 15961-1 (ABNT, 2011) especifica que, na falta de ensaios, o módulo de elasticidade do aço pode ser considerado igual a 210 GPa. É recomendado ainda o uso de espaçadores durante o grauteamento para garantir o cobrimento especificado no projeto.



Pesquise mais

O detalhamento construtivo das armaduras garante que a estrutura funcione da maneira prevista durante a etapa de cálculo. Desse modo faça uma pesquisa sobre os detalhes construtivos mais utilizados na alvenaria estrutural, quais as formas mais empregadas e suas funcionalidades.

JOAQUIM, Mauricio Martinelli. **Flexão e flexo-compressão em elementos de alvenaria estrutural**. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999. Disponível em: <http://www.set.eesc.usp.br/static/media/producao/1999ME_MauricioMartinelliJoaquim.pdf>. Acesso em: 9 nov. 2017.

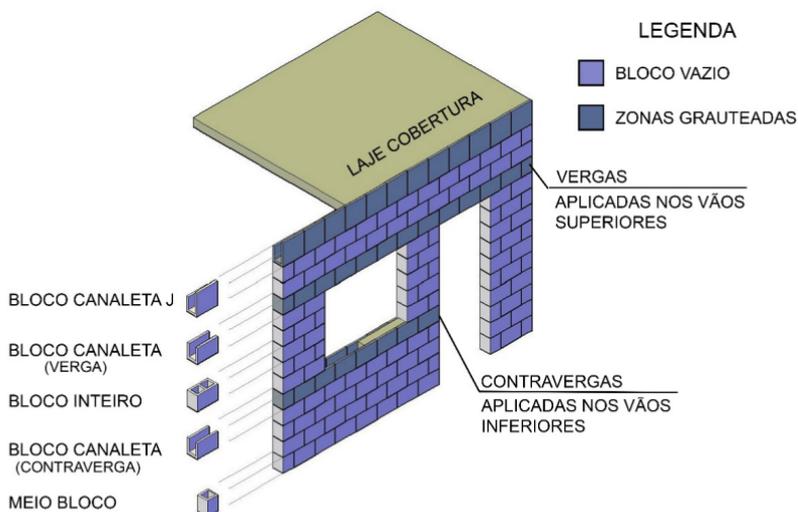
Sem medo de errar

O uso correto dos componentes da alvenaria garante maior economia e melhor desempenho da estrutura. Assim, é importante conhecer as propriedades e a aplicabilidade de cada componente para projetarmos uma edificação.

Não se esqueça de que você é responsável pelo acompanhamento da construção de um edifício de quatro andares, que está iniciando a fase de execução das paredes de alvenaria estrutural, e deve explicar aos colaboradores da obra como e quais blocos devem ser empregados, e os traços que devem ser utilizados. Portanto, faça um esboço demonstrando como se deve usar os blocos inteiros, meio bloco, canaleta, canaleta J. Ainda, indique um traço para a argamassa e o graute a ser utilizado.

Comece esclarecendo que os blocos devem ser empregados com juntas verticais de 1 cm, conforme apresentado no projeto de paginação das paredes, no qual o conjunto de bloco inteiro e meio bloco define a dimensão do ambiente sem a necessidade de ajustes ou cortes. Os blocos do tipo canaleta devem ser grauteados, formando estruturas mais resistentes nas fiadas superiores aos vãos de portas e janelas, resultando assim nas vergas e nas fiadas inferiores das janelas, formando as contravergas, ambas ilustradas na Figura 1.21.

Figura 1.21 | Principais tipos de blocos e suas utilizações



Fonte: elaborada pelo autor.

O bloco canaleta J deve ser utilizado para o recebimento da laje, oferecendo o acabamento externo de modo que a laje não seja visível na fachada da casa. Ainda, as zonas de encontro de paredes podem ser grauteadas para oferecer maior solidarização das paredes.

Os traços de argamassa e graute vão depender da resistência prevista no projeto. Em uma análise inicial, podemos estimar a resistência do bloco utilizando a Tabela 1.5. Dessa maneira, para blocos com função estrutural acima do nível do solo, temos a classe B, com faixa de resistência de $4,0 \leq f_{bk} < 8,0$. Dessa maneira, podemos fazer uma estimativa de resistência inicial do bloco à compressão de 6,0 MPa.

Sabemos ainda que é recomendado que a resistência da argamassa à compressão esteja dentro da faixa de 0,7 a 1,5 vezes o valor f_{bk} . Logo, estimamos sua resistência em:

$$f_a = 0,7 \cdot f_{bk} \rightarrow f_a = 0,7 \cdot 6,0$$

$$f_a = 4,2 \text{ MPa}$$

A partir desse resultado, aplicamos a Tabela 1.2 e encontramos uma estimativa do traço em volume de 1:1:4,5, sendo respectivamente cimento, cal e areia.

Também é recomendado que a resistência à compressão do graute situe-se dentro de uma faixa de 2,0 a 2,5 vezes o valor f_{bk} . Assim, podemos estimar sua resistência em:

$$f_{gk} = 2,0 \cdot f_{bk} \rightarrow f_{gk} = 2,0 \cdot 6,0$$

$$f_{gk} = 12,0 \text{ MPa}$$

Como a estimativa de resistência à compressão do graute resultou em 12,0 MPa, devemos aplicar a recomendação de resistência mínima definida pela NBR 15961-1 (ABNT, 2011) de 15,0 MPa. Portanto, usamos a Tabela 1.3 para estimar o traço em volume, resultando em 1:0,1:2,4:2,2 de cimento, cal, areia e brita 0 respectivamente.

É importante destacar que os traços indicados são aproximados e não se eximem da responsabilidade de realizar ensaios que comprovem a resistência estimada.

Elaborando detalhe construtivo das armaduras

Descrição da situação-problema

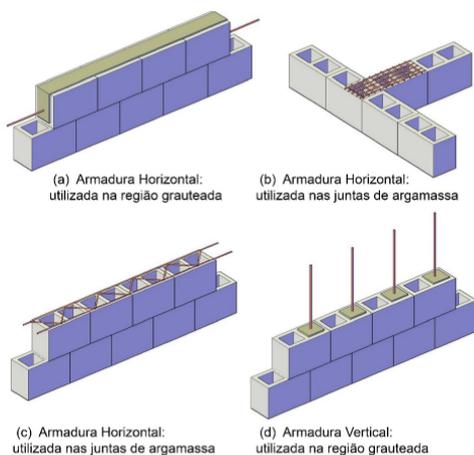
Você é o engenheiro responsável pelo projeto de uma edificação em alvenaria estrutural. Após visita à obra, é constatado que a execução de alvenaria estava acontecendo com o emprego das armações de maneira errada. Para evitar novas falhas de execução, você deve em seu projeto elaborar um detalhe construtivo informando como precisam ser empregadas as armações verticais e horizontais na alvenaria e quais cuidados necessitam ser tomados.

Resolução da situação-problema

As barras utilizadas na alvenaria estrutural são constituídas de aço CA-50, sendo o mesmo tipo usado nas estruturas de concreto armado. Elas devem ser corretamente dimensionadas para os esforços solicitantes, sendo aplicadas de acordo com o que foi definido no projeto estrutural.

As armaduras podem ser dispostas na horizontal, ou na vertical, dependendo da sua função esperada. Na Figura 1.22 são apresentadas as principais aplicações construtivas e estruturais.

Figura 1.22 | Detalhe construtivo: emprego de armadura na alvenaria



Fonte: elaborada pelo autor.

A armadura horizontal da Figura 1.22 (a) é empregada na região grauteada dos blocos canaletas sendo utilizada nos elementos de vigas, vergas, contravergas e cintas. Além de resistir aos esforços de flexão, também proporcionam maior capacidade de deformação.

A armadura em tela da Figura 1.22 (b) é empregada nas juntas de argamassa da alvenaria e possui importante função construtiva, devendo ser usada nos encontros de paredes ou entre parede e elemento estrutural, tal como viga e pilar. Sua função é de distribuir melhor os esforços entre os elementos, melhorando o desempenho do conjunto.

A disposição mostrada na Figura 1.22 (c) refere-se à utilização de armadura treliçada plana, que também é empregada nas juntas de argamassa da alvenaria, sendo comumente usada para combater esforços de tração em elementos fletidos, assim sua maior serventia se dá nas vigas, vergas, contravergas e cintas.

A armadura vertical ilustrada na Figura 1.22 (d) é utilizada na região grauteada dos blocos e deve ser aplicada nos encontros de paredes, em suas extremidades e pontos de maior solicitação vertical. Possui a função de enrijecer a parede aumentando sua resistência à compressão.

Alguns cuidados devem ser tomados no emprego das armaduras na alvenaria. Desse modo é fundamental que os diâmetros da barra sejam limitados a um valor máximo de 25 mm para utilização nos vazios da alvenaria e 6,3 mm nas juntas de assentamento, precisando ainda respeitar a taxa máxima de armadura por furo, que deve ser inferior a 8% da seção grauteada.

Quando a armadura é disposta na junta, é necessário ter um cuidado especial com o traço da argamassa, uma vez que o uso de cal em excesso pode favorecer a ocorrência de corrosão da armadura. Ainda, nas juntas recomenda-se o uso de um diâmetro mínimo de 4 mm, e este deve ser aplicado a fim de garantir o cobrimento apropriado.

Faça valer a pena

1. A argamassa é utilizada de diferentes formas na construção civil, por isso existem diversos traços que podem ser empregados em sua fabricação. A escolha do traço ideal depende da função esperada pela argamassa, e a escolha errada pode comprometer a durabilidade das peças e reduzir a capacidade resistente da estrutura.

Sobre a escolha dos traços de argamassa é correto afirmar:

- a) Argamassa de alta resistência à compressão é recomendada para o assentamento de pisos de alto valor monetário e que possuem grandedeformação térmica, garantindo assim a durabilidade adequada.
- b) É recomendado o uso de argamassas que apresentam resistência à compressão aos 28 dias de 3,5 MPa ou superior para utilização em elementos enterrados e ambientes muito agressivos com presença de sulfatos.
- c) A cal é um dos elementos fundamentais para garantir a trabalhabilidade da argamassa, devendo ser empregada sem redução de seu volume, independentemente da existência de armaduras nas juntas.
- d) Um traço mais forte, ou seja, de alta resistência à compressão é recomendável para que a estrutura possua boa deformabilidade, sendo muito utilizado em alvenarias em que a ação lateral não é predominante.
- e) Argamassa de baixa resistência à compressão é recomendável para o assentamento de pisos de alto valor monetário, garantindo assim a durabilidade adequada.

2. As definições das áreas bruta, líquida e efetiva fornecidas pela norma NBR 15961-1 são utilizadas nos cálculos de resistência dos blocos. Consequentemente, é importante conhecer as diferenças entre elas para usá-las corretamente nas verificações dos elementos estruturais.

Sobre as definições de áreas apresentadas pela norma brasileira, é correto afirmar que:

- I. A área bruta é a área referente às dimensões externas do elemento, desprezando a existência de vazios.
- II. A área líquida de um bloco se dá em função do uso de argamassa, sendo esta igual à soma das áreas nas quais a argamassa é disposta.
- III. A área efetiva é a parte da área líquida de um componente ou elemento sobre a qual é disposta a argamassa, sendo utilizada pela norma brasileira para caracterizar a resistência à compressão dos blocos.
- IV. A área líquida pode ser dada pela área bruta menos a área de vazios.

Assinale a alternativa que contém todas as afirmações corretas:

- a) As afirmativas I, II e IV estão corretas.
- b) As afirmativas I e III estão corretas.
- c) As afirmativas II, III e IV estão corretas.
- d) As afirmativas I e IV estão corretas.
- e) Somente a afirmativa I está correta.

3. O dimensionamento da alvenaria estrutural depende da resistência do bloco a ser empregado. Para definir um valor inicial podemos utilizar as recomendações da norma NBR 6136:2016, que determina a resistência mínima característica à compressão referente à área bruta em função da classificação das unidades quanto ao seu uso. Portanto, para escolher o bloco certo é necessário prévio conhecimento quanto a sua classificação.

Sobre as classificações das unidades de alvenaria, marque V para verdadeiro ou F para falso:

() Os blocos de classe B podem ser utilizados com função estrutural, porém limitados para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo.

() São considerados blocos com função estrutural aqueles que possuem resistência característica à compressão axial de 3,0 MPa ou mais, podendo ser aplicados em qualquer tipo de estrutura.

() Os blocos de classe C com largura de 90 mm podem ser considerados com função estrutural, porém limitados para uso em edificações de um pavimento.

() Blocos de resistência característica à compressão axial superior a 8,0 MPa podem ser considerados com função estrutural podendo ser utilizados acima ou abaixo do nível do solo.

Assinale a alternativa que contém todas as afirmações corretas:

- a) V - F - V - F.
- b) F - V - F - V.
- c) V - F - V - V.
- d) F - V - V - V.
- e) V - V - V - V.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15961-1**: Alvenaria Estrutural – blocos de concreto – Parte 1: Projetos. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
- _____. **NBR 15961-2**: Alvenaria Estrutural – blocos de concreto – Parte 2: execução e controle de obras. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
- _____. **NBR 5739**: Ensaio à compressão de corpos de prova cilíndricos de concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.
- _____. **NBR 6136**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- _____. **NBR 12118**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Métodos de ensaios. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- BECKER, Idel. **Pequena história da civilização ocidental**. São Paulo: Nacional, 1974.
- BRITISH STANDARDS – BS. **CP 111**: structural recommendations for loadbearing walls. London: British Standards Institution, 1948.
- NORWICH, John Julius. **Great architecture of the world**. New York: Mitchell Beazley, 2001.
- NUNES, Patrícia Cristina Cunha. **Teoria do arco de alvenaria**: uma perspectiva histórica. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.
- PARSEKIAN, Guilherme A.; HAMID, Ahmad A.; DRYSDALE, Robert G. **Comportamento e dimensionamento de alvenaria estrutural**. São Carlos: Edufscar, 2013.
- RAMALHO, Marcio A.; CORRÊA, Márcio R. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. São Paulo: Pini, 2003.

Concepção estrutural e distribuição de ações

Convite ao estudo

Caro aluno, seja bem-vindo a mais uma etapa. Na unidade anterior vimos um breve histórico dos princípios básicos da alvenaria estrutural e dos componentes empregados nesse sistema. Avançando em nosso estudo, a Unidade 2 tem como objetivo aplicar os conceitos já discutidos e abordar os métodos de distribuição das cargas para determinar os esforços solicitantes na estrutura. Desse modo, você estará um passo mais perto de projetar estruturas em alvenaria.

Vamos imaginar que você foi recém-contratado como engenheiro civil na empresa em que sempre sonhou trabalhar. Seu futuro é promissor, mas você não pode ficar acomodado, porque pretende ganhar a confiança dos seus supervisores para poder crescer dentro da empresa.

Em uma palestra, você é apresentado a um grande investidor que reclama por aplicar dinheiro nas principais capitais e, mesmo assim, não obter grandes retornos.

Você argumenta que essa questão é um desafio, já que a concorrência com as outras construtoras pode diminuir o interesse do consumidor. Além disso, nem sempre é possível encontrar um bom terreno, pois as regiões mais valorizadas possuem um custo que inviabiliza o negócio. Porém, em cidades do interior, o problema é bem menor, uma vez que o número de construtoras atuantes na região é inferior.

Ele demonstra grande interesse pela sua ideia e pede para que você desenvolva uma análise de viabilidade econômica da sua ideia. Caso a proposta seja coerente, vocês podem firmar uma parceria entre o escritório no qual trabalha e o investidor, o que lhe renderia muitos projetos.

Você seleciona uma cidade entre as que oferecem melhor desenvolvimento econômico para construir um edifício residencial de 6 andares (5 pavimentos tipos + térreo), e será a primeira edificação com mais de 2 pavimentos da cidade.

Quando conversou com seu chefe, ele achou sua atitude ousada, no entanto, caso a parceria seja firmada, prometeu-lhe uma participação nos lucros da empresa. Para a realização da análise de viabilidade econômica, ele lhe delega a avaliação das cargas aplicadas na estrutura, a melhor disposição das paredes e o carregamento final em cada uma delas.

Para que essa sociedade dê certo será necessário mostrar suas habilidades. Essa é a chance que você procurava para ganhar a confiança e o respeito do seu diretor.

A fim de fornecer os meios para solucionar os problemas levantados, dividimos o conteúdo em três seções, sendo que na primeira serão abordados temas relacionados às possíveis ações presentes em edificações, como empuxo, desaprumo e vento, envolvendo os aspectos de segurança nas estruturas e os estados limites. Em seguida, na Seção 2.2, falaremos sobre as informações pertinentes às cargas verticais provenientes das lajes e peso próprio e a interação das paredes, bem como o procedimento para a distribuição deste carregamento. Por fim, na Seção 2.3 seremos introduzidos às metodologias para a distribuição de ações para contraventamentos simétricos e assimétricos, assim como as considerações de trechos rígidos e os critérios quanto à estabilidade global da estrutura de contraventamento.

Seção 2.1

Ações em edifícios de alvenaria estrutural

Diálogo aberto

Durante as últimas seções, tratamos do processo evolutivo do sistema em alvenaria até os dias atuais, percorrendo brevemente sobre seu funcionamento estrutural. Ao longo das próximas seções iremos nos aprofundar mais nas considerações necessárias para o dimensionamento da estrutura. Dessa maneira, começaremos esta unidade abordando as possíveis ações presentes em edificações, como empuxo, desaprumo e vento, envolvendo os aspectos de segurança nas estruturas e os estados limites.

Lembre-se, você foi responsável por uma parceria entre seu escritório e um grande investidor. Agora, para a realização do estudo de viabilidade econômica, cabe a você a definição das cargas no edifício.

A proposta definida é um prédio residencial de 6 andares (5 pavimentos tipos + térreo) com envelope externo de seção retangular 10 x 20 metros, construído em um pequeno município do interior, e será a primeira edificação com mais de 2 pavimentos da cidade, sabe-se que é preciso o cálculo dos esforços de desaprumo e vento em cada andar.

Para isso, você consultou a norma NBR 6123 (ABNT, 2013) e observou que para a cidade escolhida, a velocidade básica do vento é de 40 m/s. O terreno se apresenta fracamente acidentado, com cota média do topo dos obstáculos igual a 3 metros. Foi definida ainda, para esse empreendimento, a altura entre lajes de 3 metros, e estimado um peso para cada pavimento de 4.000 kN.

Desse modo, calcule os esforços de desaprumo e vento em cada andar, na direção de maior comprimento.

Não pode faltar

Conforme vimos nas seções anteriores, na alvenaria estrutural as paredes desempenham dupla função: vedação e estrutura.

Portanto, devem, além de providenciar a adequada vedação dos ambientes, resistir às ações solicitantes e oferecer segurança aos usuários.

A NBR 8681 (ABNT, 2004) define ações como as causas que provocam esforços ou deformações nas estruturas. Assim, as estruturas de modo geral estão sujeitas a diversas formas de ações, podendo ser classificadas em três categorias: permanentes, variáveis e excepcionais.



Assimile

Segundo a NBR 8681 (ABNT, 2004, p. 2):



1. **Ações permanentes:** ações que ocorrem com valores constantes ou de pequena variação durante praticamente toda a vida da construção.
2. **Ações variáveis:** ações que ocorrem com valores que apresentam variações significativas ao longo da vida da edificação.
3. **Ações excepcionais:** ações excepcionais são as que têm duração extremamente curta e probabilidade de ocorrência muito baixa durante a vida da construção, mas que devem ser consideradas nos projetos de determinadas estruturas, como explosões, incêndios e sismos.

Ações horizontais: empuxo, desaprumo e vento

- **EMPUXO**

A determinação do valor do empuxo é muito importante na análise de estruturas cuja função é conter líquidos, grãos ou solos. Uma das formas mais comuns é o empuxo de terra, que é a ação produzida pelo maciço de solo na estrutura. Esse carregamento é considerado como uma ação permanente, visto que revelava valores com baixa variação ao longo da vida útil da estrutura. O cálculo dessas ações depende do peso específico e do ângulo de atrito interno dos materiais.



Uma relação das propriedades dos materiais mais utilizados pode ser obtida pela NBR 6120 (ABNT, 2000). Procure na norma a tabela que contém as informações necessárias para o cálculo da força de empuxo dos principais materiais empregados.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6120**: cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 2000.

A partir do peso específico e do ângulo de atrito interno, podemos obter a força horizontal em função do empuxo ativo aplicando a teoria de Rankine:

$$F_h = K_a \cdot \gamma \cdot h$$

Em que, K_a é o coeficiente de empuxo ativo, dado por:

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$$



Considere um muro de arrimo de 4,0 metros de altura, sendo usado para contenção de um solo reconhecido como argila arenosa. Qual o perfil de empuxo horizontal atuante no muro?

A partir da NBR 6120 (ABNT, 2000), temos as seguintes características para a argila arenosa:

- Peso específico aparente: $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$
- Ângulo de atrito interno: $\phi = 25^\circ$

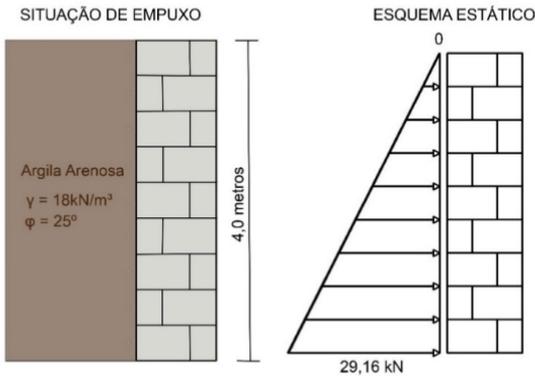
Desse modo, calculamos o coeficiente de empuxo ativo:

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{25}{2} \right) \rightarrow K_a = 0,405$$

Assim, obtemos a força horizontal máxima, conforme a Figura 2.1:

$$F_h = 0,405 \cdot 18,4 \rightarrow F_h = 29,16 \text{ kN}$$

Figura 2.1 | Esquema de carregamento devido ao empuxo

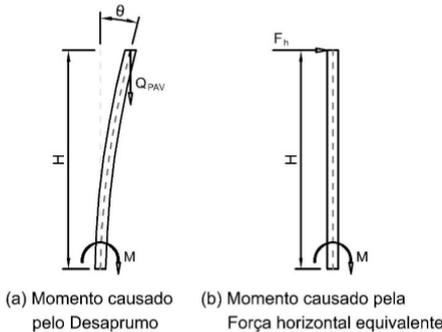


Fonte: elaborada pelo autor.

• DESAPRUMO

Outra ação permanente que deve ser valorizada na estrutura é o efeito de desaprumo, utilizado para levar em conta algumas possíveis imperfeições geométricas que possam ocorrer nos elementos estruturais. Dessa maneira, a falta de linearidade da edificação faz com que o peso próprio da estrutura ocasione um momento na base, de acordo com a Figura 2.2(a). A consideração desse efeito pode ser simplificada levando-se em conta uma força horizontal aplicada na estrutura de intensidade tal que o momento gerado por esta seja equivalente ao ocasionado pela falta de linearidade, ilustrado na Figura 2.2(b).

Figura 2.2 | Momento equivalente à força horizontal



Fonte: elaborada pelo autor.

A NBR 15961-1 (ABNT, 2011) determina que, para edificações de múltiplos andares, deve ser considerado um desaprumo global que causa na estrutura uma força horizontal F_h :

$$F_h = Q_{pav} \cdot \theta_a$$

Em que, θ_a é o ângulo de desaprumo, em radianos:

$$\theta_a = \frac{1}{100 \cdot \sqrt{H}} \leq \frac{1}{40 \cdot H}$$

Sendo H a altura total da edificação em metros.



Exemplificando

Considere uma edificação de 9 pavimentos + térreo, a distância entre pavimentos de 3 metros e peso de cada pavimento de 100 tf cada. Determine a força horizontal causada pelo desaprumo. Para isso, calculamos o ângulo de desaprumo, sendo este o maior entre as duas situações.

$$\theta_a = \frac{1}{100 \cdot \sqrt{3 \cdot 10}} \leq \frac{1}{40 \cdot 3 \cdot 10} \rightarrow \theta_a = 0,0018 \leq 0,0008$$

$$\theta_a = 0,0018 \text{ rad}$$

Com o ângulo, calculamos a força horizontal considerando o carregamento atuante em cada pavimento. Assim, temos:

$$F_h = 100 \cdot 0,0018 \rightarrow 0,18 \text{ tf}$$

• AÇÃO DO VENTO

O vento é uma das ações variáveis mais importantes a ser considerada. Grande parte das estruturas estão sujeitas à ação de ventos, sendo que eles podem ocorrer em várias direções e sentidos. O cálculo da força de vento deve ser realizado em conformidade com as prescrições da NBR 6123 (ABNT, 2013).

A força global de vento sobre uma edificação é obtida pela soma vetorial das forças de vento atuantes, sendo que a componente da força global na direção do vento é obtida por:

$$F_a = C_a \cdot q \cdot A_e$$

Em que C_a é o coeficiente de arrasto, A_e é a área frontal efetiva e q é a pressão dinâmica em N/m^2 calculada por:

$$q = 0,613 \cdot V_k^2$$

A velocidade característica do vento V_k depende de vários fatores como: velocidade básica do vento; fatores topográficos, considerados pelo coeficiente S_1 ; rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno, considerados pelo coeficiente S_2 ; fator estatístico, grau de segurança e vida útil da edificação, considerados pelo coeficiente S_3 .

Assim, a fim de fazer as devidas considerações, para calcular a velocidade característica do vento, é preciso multiplicá-la pelos fatores S_1 , S_2 e S_3 .

$$V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3$$

Segundo a NBR 6123 (ABNT, 2013), a velocidade básica do vento V_0 é dada em m/s e representa a velocidade de uma rajada de 3 s, excedida em média uma vez em 50 anos, a 10 m acima do terreno, em campo aberto e plano. Ela pode ser obtida pela isopleta apresentada na norma.



Pesquise mais

A NBR 6123 (ABNT, 2013) traz as recomendações quanto aos fatores S_1 , S_2 e S_3 necessários para o cálculo da força de vento. Confira como poderíamos calcular o valor da velocidade característica e como seriam feitas as considerações desses fatores para uma edificação qualquer.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 2013.



Exemplificando

Considere um edifício de 30 metros de altura com uso residencial construído no centro de Curitiba. Sabe-se que o terreno é plano e, a região, coberta por obstáculos numerosos e pouco espaçados. Calcule a pressão dinâmica de vento atuante.

Para resolver o problema, podemos utilizar a norma NBR 6123 (ABNT, 2013), cuja isopleta apresenta uma velocidade básica de vento de 42 m/s para a cidade de Curitiba. Em se tratando de um terreno plano temos que o coeficiente S_1 vale 1,0.

Para o cálculo do coeficiente S_2 , é preciso identificar a categoria e a classe da edificação. Como o terreno está inserido em uma zona urbanizada, coberto por obstáculos numerosos e pouco espaçados, ele pertence à Categoria IV. Com a altura da edificação temos que a maior dimensão horizontal ou vertical é 30 m, assim a edificação se enquadra na Classe B. A partir da categoria e classe definidas podemos utilizar a Tabela 2 da norma e obter o coeficiente S_2 com valor igual a 0,96.

Pelo fato de a edificação ser de uso residencial, sabemos que o coeficiente S_3 vale 1,0. Portanto, podemos calcular a velocidade característica do vento.

$$V_k = 42 \cdot 1,0 \cdot 0,96 \cdot 1,0 \rightarrow V_k = 40,32 \text{ m/s}$$

Desse modo, calculamos a pressão dinâmica atuante.

$$q = 0,613 \cdot (40,32)^2 \rightarrow q = 996,55 \text{ N/m}^2$$

Ou seja, sobre a estrutura atua uma pressão de vento de aproximadamente $1,00 \text{ kN/m}^2$

Ações acidentais e outras ações

As ações acidentais também são chamadas de ações excepcionais, possuem duração extremamente curta e probabilidade de ocorrência muito baixa, porém devem ser consideradas nos projetos de alguns tipos de estruturas. Essas ações incluem abalos sísmicos, explosões, incêndios e enchentes.

A edificação submetida a uma ação acidental deve ser projetada para conter os danos evitando o colapso progressivo da estrutura, ou seja, o dano não deve se espalhar para pontos distantes de onde a carga acidental foi aplicada.

Outras ações ainda podem ocorrer apresentando estados de carregamento significativos à segurança da estrutura, como no caso de ações durante a construção da edificação, ou recalques diferenciais muito elevados.

Essas podem ser aplicadas de forma temporária ou permanente. Nesse caso, cabe ao engenheiro projetista identificar quais ações podem gerar um estado crítico de carregamento, fazendo as corretas considerações para evitar o colapso progressivo da estrutura.

Segurança nas estruturas

O dimensionamento da estrutura deve garantir a capacidade de manter-se em plenas condições de utilização durante toda a sua vida útil, oferecendo segurança à ruptura, sem mostrar danos que comprometam em parte ou totalmente o uso para o qual foi projetada. Assim, o dimensionamento visa impedir não somente a ruptura do elemento estrutural, mas também as situações nas quais a edificação não apresenta perfeito estado de funcionamento.

No entanto, é inviável projetar uma estrutura que ofereça total segurança contra todos os fatores aleatórios que influenciam a edificação, já que tanto as ações como as resistências são valores estatísticos, sendo impossível prever todas as suas variáveis. Desse modo, a segurança nas estruturas se dá pela adoção de coeficientes de segurança que têm por objetivo cobrir as incertezas que ainda não podem ser tratadas estatisticamente.

Para o dimensionamento, é necessária a definição dos valores característicos, que são aqueles que possuem probabilidade de 5% de serem ultrapassados no sentido desfavorável para a segurança e, então, são aplicados os coeficientes de segurança para se obterem os valores de cálculo.



Reflita

Por que devemos utilizar o valor característico no dimensionamento? Não poderíamos usar a resistência média do material ou aplicar a solicitação média? Afinal, esta não representaria um valor mais próximo da situação real durante a maior parte do tempo?

Logo, dada uma solicitação característica (F_k), utilizamos os coeficientes de majoração dos esforços (γ_f), para cobrir a variabilidade das ações e imprecisões referentes ao processo de cálculo, obtendo a solicitação de cálculo (S_d):

$$S_d = \gamma_f \cdot F_k$$

O emprego do coeficiente de minoração da resistência dos materiais (γ_m) é aplicado à resistência característica (f_k), a fim cobrir as incertezas referentes à variabilidade das resistências, as condições de execução da obra e a discrepância entre os valores alcançados durante o ensaio e as situações reais, obtendo a resistência de cálculo f_d :

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_m}$$

A NBR 15961-1 (ABNT, 2011) define os valores dos coeficientes de ponderação das resistências para verificação no estado limite último (ELU), conforme indicados no Quadro 2.1.

Quadro 2.1 | Valores de γ_m

Combinações	Alvenaria	Graute	Aço
Normais	2,0	2,0	1,15
Especiais ou de construção	1,5	1,5	1,15
Excepcionais	1,5	1,5	1,0

Fonte: NBR 15961-1 (2011, p. 10).

Estados limites

Segundo a NBR 8681 (ABNT, 2004), os estados limites definem o ponto pelo qual a estrutura revela um desempenho inadequado às finalidades da construção. Podem apresentar-se de duas formas: estados limites últimos ou estados limites de serviço. Ambos dependem dos tipos de materiais de construção empregados e devem ser especificados pelas normas referentes ao projeto de estruturas com eles construídas.



Assimile

Segundo a NBR 8681 (ABNT, 2004, p. 2):

Estados limites últimos: estados que, pela sua simples ocorrência, determinam a paralisação, no todo ou em parte, do uso da construção.

Estados limites de serviço: estados que, por sua ocorrência, repetição ou duração, causam efeitos estruturais que não respeitam as condições especificadas para o uso normal da construção, ou que são indícios de comprometimento da durabilidade da estrutura.



No método dos estados limites, a segurança é garantida quando as solicitações atuantes (S_d) com valores já majorados pelos coeficientes (γ_f) forem menores que os esforços resistentes (R_d), considerando a resistência correspondente aos valores minorados pelo coeficiente (γ_m). Respeitando, portanto, a seguinte condição:

$$R_d \geq S_d$$

O carregamento atuante em um sistema estrutural pode ser definido pela combinação de ações que possuem probabilidade de ocorrência simultânea sobre a estrutura durante um período preestabelecido. Devendo ser realizadas quantas combinações forem necessárias para cobrir todos os efeitos não desprezíveis que podem acontecer na estrutura, considerando sempre em seu sentido mais desfavorável.

As ações utilizadas em cada combinação devem ser multiplicadas pelos respectivos coeficientes de ponderação e a segurança precisa ser verificada tanto em função das combinações últimas quanto em função das combinações de serviço.

- Combinações das ações no ELU

Segundo a NBR 8681 (ABNT, 2004), no dimensionamento devem ser considerados os estados limites últimos referentes ao carregamento normal, carregamento especial ou de construção e carregamento excepcional. Em cada um devem ser empregadas as ações majoradas pelos coeficientes de segurança, porém, quando mais de uma ação variável é considerada, podemos aplicar um coeficiente de redução, uma vez que a probabilidade das duas ações ocorrerem simultaneamente em seu valor máximo é muito pequena. Assim, a NBR 6118 (ABNT, 2014) determina as combinações últimas indicadas no Quadro 2.2.

Quadro 2.2 | Combinações últimas

Combinações últimas (ELU)	Cálculo das solicitações
Normais	$F_d = \gamma_g \cdot F_{gk} + \gamma_{\epsilon g} \cdot F_{\epsilon gk} + \gamma_q \cdot (F_{q1k} + \sum \psi_{0j} \cdot F_{qjk}) + \gamma_{\epsilon q} \cdot \psi_{0\epsilon} \cdot F_{\epsilon qk}$
Especiais ou de construção	$F_d = \gamma_g \cdot F_{gk} + \gamma_{\epsilon g} \cdot F_{\epsilon gk} + \gamma_q \cdot (F_{q1k} + \sum \psi_{0j} \cdot F_{qjk}) + \gamma_{\epsilon q} \cdot \psi_{0\epsilon} \cdot F_{\epsilon qk}$
Excepcionais	$F_d = \gamma_g \cdot F_{gk} + \gamma_{\epsilon g} \cdot F_{\epsilon gk} + F_{q1exc} + \gamma_q \cdot \sum \psi_{0j} \cdot F_{qjk} + \gamma_{\epsilon q} \cdot \psi_{0\epsilon} \cdot F_{\epsilon qk}$

Em que:	
F_d	Representa o valor de cálculo das ações para combinação última.
F_{gk}	Representa as ações permanentes diretas.
F_{ek}	Representa as ações indiretas permanentes como a retração F_{eqk} e variáveis como a temperatura F_{eqk} .
F_{qk}	Representa as ações variáveis diretas das quais F_{q1k} é escolhida a principal.
ψ_0	Representa o fator de redução de combinação para o estado limite último, podendo ser obtido pela Tabela 6 da NBR 8681 (ABNT, 2004).
γ_g e γ_q	Representam os coeficientes de ponderação, podendo ser obtidos pela Tabela 1 da NBR 8681 (ABNT, 2004).

Fonte: adaptado da NBR 6118 (ABNT, 2014, p. 67).

- Combinações das ações no ELS

Para o estado limite de serviço a NBR 6118 (ABNT, 2014) estabelece as seguintes combinações últimas: quase permanentes, frequentes e raras (Quadro 2.3).

Quadro 2.3 | Combinações de serviço

Combinações de serviço (ELS)	Cálculo das solicitações
Quase permanentes	$F_{d,ser} = \sum F_{gi,k} + \sum \psi_{2j} \cdot F_{qj,k}$
Frequentes de serviço	$F_{d,ser} = \sum F_{gi,k} + \sum \psi_1 \cdot F_{q1,k} + \sum \psi_{2j} \cdot F_{qj,k}$
Raras de serviço	$F_{d,ser} = \sum F_{gi,k} + F_{q1k} + \sum \psi_{1j} \cdot F_{qj,k}$
Em que,	
$F_{d,ser}$	É o valor de cálculo das ações para combinação de serviço.
F_{q1k}	É o valor característico das ações variáveis principais diretas.
ψ_1	É o fator de redução de combinação frequente para ELS, podendo ser obtido pela Tabela 6 da NBR 8681 (ABNT, 2004).
ψ_2	É o fator de redução de combinação quase permanente para ELS, podendo ser obtido pela Tabela 6 da NBR 8681 (ABNT, 2004).

Fonte: adaptada da NBR 6118 (2014, p. 69).

Sem medo de errar

Uma das etapas iniciais de dimensionamento é a determinação das ações que solicitam a estrutura. Um erro nessa fase pode significar a perda de estabilidade da edificação, com ruptura da estrutura, e colocar a vida dos ocupantes em risco. Portanto, é extremamente importante que o engenheiro projetista analise com muito cuidado as possíveis variáveis que ocasionem esforços na estrutura.

Lembre-se, você é responsável pela definição das cargas em um edifício de 6 andares (5 pavimentos tipos + térreo) com envelope externo de seção retangular 10 x 20 metros, que será construído em uma pequena cidade do interior. Através da NBR 6123 (ABNT, 2013) foi constatado que para a cidade definida a velocidade básica do vento é de 40 m/s. O terreno se apresenta fracamente acidentado, com cota média do topo dos obstáculos igual a 3 metros. Foi definida ainda, para esse empreendimento, a altura entre lajes de 3 metros, e estimado um peso para cada pavimento de 4.000 kN. Desse modo, calcule os esforços de desaprumo e vento em cada andar, na direção de maior comprimento.

Figura 2.3 | Planta do edifício e esquema de carregamento



Fonte: elaborada pelo autor (2017).

A fim de realizar as verificações necessárias, calculamos inicialmente o ângulo de desaprumo em cada andar, considerando os 6 pavimentos, com distância entre lajes de 3 metros:

- Cálculo dos esforços de desaprumo:

$$\theta_a = \frac{1}{100 \cdot \sqrt{H}} \leq \frac{1}{40 \cdot H}$$

$$\theta_a = \frac{1}{100 \cdot \sqrt{3.6}} \leq \frac{1}{40 \cdot 3.6} \rightarrow \theta_a = 0,0024 \leq 0,0014$$

Portanto, o ângulo de desaprumo é de 0,0024 radianos, em seguida calculamos a força horizontal produzida em cada pavimento:

$$F_h = Q_{pav} \cdot \theta_a \rightarrow F_h = (4000) \cdot 0,0024 \rightarrow 9,43kN$$

- Cálculo dos esforços devido ao vento:

A verificação dos esforços da força de vento é realizada conforme as recomendações da norma NBR 6123 (ABNT, 2013). Logo, como a edificação em estudo se localiza em um terreno levemente acidentado, temos que o coeficiente S_1 possui valor 1,0.

Para o cálculo do coeficiente S_2 , é fundamental identificar a categoria e a classe da edificação. Como o terreno possui cota média do topo dos obstáculos igual a 3 metros, pertence à Categoria III. Com a largura temos que a maior dimensão horizontal ou vertical é 20 m, assim a edificação se enquadra na Classe A. A partir das categorias classe e altura, podemos utilizar a Tabela 2 da NBR 6123 (ABNT, 2013) e obter o coeficiente S_2 para cada pavimento.

Em virtude da edificação ser de uso residencial, temos que o coeficiente S_3 vale 1,0. Obtido os coeficientes, prosseguimos com o cálculo da velocidade característica e pressão dinâmica do vento, utilizando as seguintes equações:

$$V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 ; q = 0,613 \cdot V_k^2$$

Por fim, a partir dos dados apresentados na Tabela 2.1 e do gráfico na Figura 4 da NBR 6123 (ABNT, 2013), definimos o coeficiente de arrasto da edificação.

Quadro 2.4 | Dados necessários para determinação do coeficiente de arrasto

L1 (m)	L2 (m)	H (m)	L1/L2	h/L1	Ca
10,0	20,0	18,0	0,5	1,8	0,9

Fonte: elaborada pelo autor.

Dessa maneira, o cálculo da força de arrasto produzida pelo vento é feito para cada pavimento, resultando o Quadro 2.5

Quadro 2.5 | Valores de força de arrasto atuante em cada pavimento

Pavimento	S_1	S_3	S_3	$V_k (m/s)$	$q(N/m^2)$	C_a	$A_e (m^2)$	$F_a (kN)$
Térreo	1,0	0,88	1,0	35,20	759,53	0,9	15,00	10,25
1º Pav.	1,0	0,88	1,0	35,20	759,53	0,9	30,00	20,51
2º Pav.	1,0	0,89	1,0	35,60	776,89	0,9	30,00	20,98
3º Pav.	1,0	0,93	1,0	37,20	848,29	0,9	30,00	22,90
4º Pav.	1,0	0,96	1,0	38,40	903,90	0,9	30,00	24,41
5º Pav.	1,0	0,98	1,0	39,20	941,96	0,9	30,00	25,43
Teto 5º Pav.	1,0	1,00	1,0	40,00	980,80	0,9	15,00	13,24

Fonte: elaborada pelo autor.

Observa-se que o carregamento provocado pela ação do vento nesse caso é superior ao de desaprumo. Então, podemos aplicar a consideração indicada na NBR 6118 (ABNT, 2014), uma vez que 30% da ação do vento é maior que a ação de desaprumo, então considera-se somente a ação do vento.

Avançando na prática

Definindo combinação de ações

Descrição da situação-problema

Você está iniciando o dimensionamento de um edifício em alvenaria estrutural e, por isso, precisa conhecer os esforços que serão considerados no projeto.

Após uma análise inicial são definidas as principais ações atuantes, demonstradas no Quadro 2.6. Para dar continuidade, realizam-se as combinações de ações a fim de determinar o efeito mais desfavorável.

Quadro 2.6 | Ações atuantes no edifício

AÇÃO
(PP) PESO PRÓPRIO
(Q_s) SOBRECARGA
(Q_{v+}) VENTO SUBPRESSÃO
(Q_{v-}) VENTO SUCÇÃO

Fonte: elaborada pelo autor.

A partir dos valores fixados no Quadro 2.6, indique possíveis combinações de ações para o dimensionamento da edificação no estado limite último, para isso utilize os coeficientes de majoração e redução das ações.

Resolução da situação-problema

Sabemos que para combinações últimas normais podemos obter as combinações através da fórmula apresentada:

$$F_d = \gamma_g \cdot F_{gk} + \gamma_{\varepsilon g} \cdot F_{\varepsilon gk} + \gamma_q \cdot (F_{q1k} + \sum \psi_{0j} \cdot F_{qjk}) + \gamma_{\varepsilon q} \cdot \psi_{0\varepsilon} \cdot F_{\varepsilon qk}$$

Portanto, podemos aplicar os coeficientes indicados na NBR 8681 (ABNT, 2004):

- Para combinação normal, peso-próprio: $\gamma_g = 1,25$
- Para combinação normal, ações variáveis em geral: $\gamma_q = 1,50$
- Para combinação normal, ações variáveis de vento: $\gamma_q = 1,40$
- Para o fator de redução, ações variáveis em geral: $\psi_{0j} = 0,70$
- Para o fator de redução, ações variáveis de vento: $\psi_{0j} = 0,60$

Usando os coeficientes, indicamos algumas combinações de ações mostradas no Quadro 2.7

Quadro 2.7 | Principais combinações de ações

COMBINAÇÕES DE AÇÕES	
Comb. 1	$N_d = 1,25.PP + 1,5.Q_s + 1,4.0,6.Q_{v+}$
Comb. 2	$N_d = 1,25.PP + 1,5.0,7.Q_s + 1,4.Q_{v+}$
Comb. 3	$N_d = 1,0.PP + 1,4.Q_{v-}$

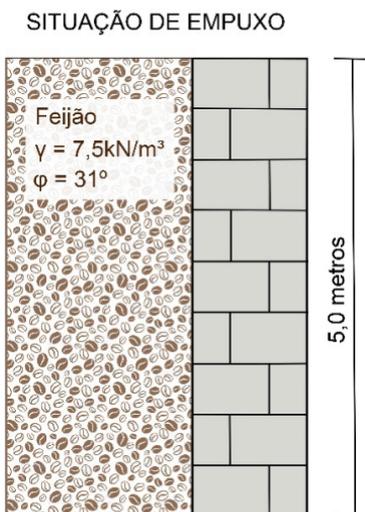
Fonte: elaborada pelo autor.

O número de combinações pode variar de acordo com a natureza das ações consideradas. No entanto, as combinações sempre devem ser suficientes para prever a ocorrência simultânea das ações no sentido mais desfavorável, levando em conta toda a vida útil da estrutura.

Faça valer a pena

1. Um engenheiro está realizando uma análise na estrutura de contenção de um silo, conforme Figura 2.4. Sabendo que nessa estrutura é armazenado somente feijão e que a altura da estrutura de contenção é 5 metros, calcule a força de empuxo horizontal atuante.

Figura 2.4 | Elevação da contenção



Fonte: elaborada pelo autor.

Selecione a alternativa que traz o valor correto da força de empuxo horizontal:

- a) 21,22 kN.
- b) 29,16 kN.
- c) 15,19 kN.
- d) 12,00 kN.
- e) 18,50 kN.

2. Sobre a segurança nas estruturas e os coeficientes de ponderação das ações, é correto afirmar que:

I - Para o dimensionamento, é necessária a definição dos valores de resistência do cálculo, esses valores podem ser obtidos a partir da resistência média do material divididos pelo coeficiente de minoração dos esforços para cobrir a variabilidade das ações e imprecisões referentes ao processo de cálculo.

II - Os valores característicos são aqueles que possuem probabilidade de 5% de serem ultrapassados no sentido desfavorável para a segurança.

III - Os coeficientes de majoração dos esforços e minoração das resistências são utilizados com a finalidade de prever erros grosseiros de execução, sendo assim, mantendo as boas práticas de execução e empregando um traço mais forte na massa, o uso desses coeficientes se torna dispensável.

IV - Utilizar o valor de resistência médio do material para o cálculo estrutural é uma decisão contra a segurança, já que o valor médio indica que metade dos materiais ensaiados apresentam valores inferiores àquela resistência.

V - A segurança das estruturas é obtida através de coeficientes de majoração dos esforços e coeficiente de minoração das resistências que visam cobrir as incertezas que ainda não podem ser tratadas estatisticamente.

Assinale a alternativa correta:

- a) As afirmativas I, II e IV estão corretas.
- b) As afirmativas I e III estão corretas.
- c) As afirmativas II, IV e V estão corretas.
- d) As afirmativas I e IV estão corretas.
- e) Somente a afirmativa I está correta.

3. A segurança das estruturas está condicionada à verificação dos estados limites. Neles é definido uma condição limite a partir da qual a estrutura deixa de atender a uma das finalidades de sua construção, sendo o dimensionamento realizado de modo que, utilizando os coeficientes de ponderação, os elementos estruturais nunca cheguem a esse limite.

Sobre os estados limites é correto afirmar:

- a) O dimensionamento da estrutura deve acontecer de modo que os elementos estruturais atinjam o estado limite último, porém sem ferir sua integridade.
- b) O estado limite de serviço é marcado pela ocorrência da ruptura da estrutura, determinando assim a paralisação, no todo ou em parte, do uso da construção.
- c) O carregamento utilizado no dimensionamento da estrutura deve prever

a combinação de todas as ações que possuem probabilidade de ocorrência simultânea sobre a estrutura, considerando sempre o sentido mais favorável.

d) Os estados limites de serviço não representam uma situação crítica da estrutura, por esse motivo a maior parte das estruturas são dimensionadas apenas para o estado limite último, ou seja, aquele que de fato leva a estrutura à ruptura.

e) Nas combinações de ações, quando mais de uma ação variável é considerada, podemos aplicar um coeficiente de redução, uma vez que a probabilidade das duas ações ocorrerem simultaneamente em seu valor máximo é muito pequena.

Seção 2.2

Distribuição de cargas verticais em edifícios de alvenaria estrutural

Diálogo aberto

Caro aluno,

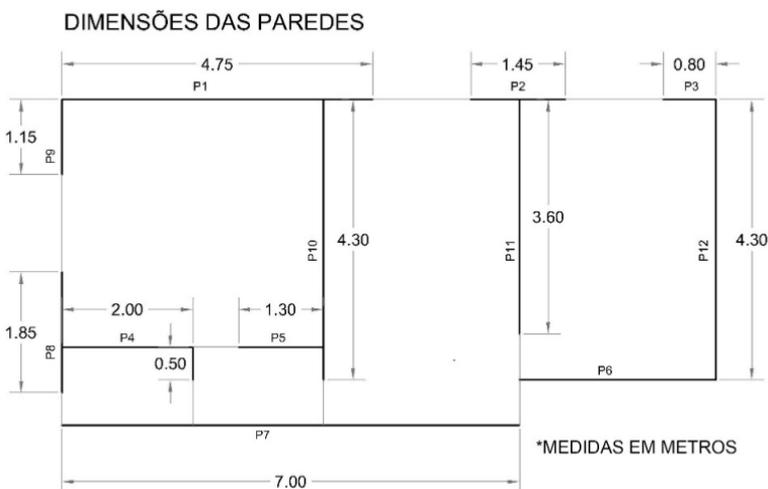
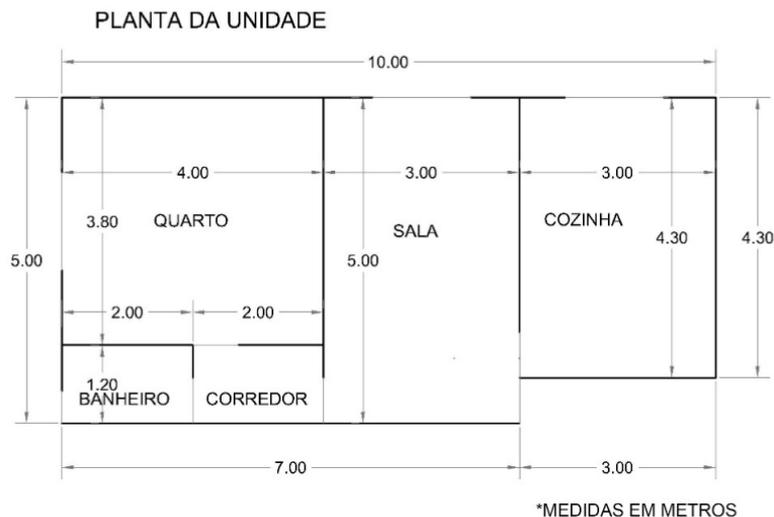
A concepção estrutural da edificação visa, de maneira geral, atender às necessidades pelas quais a construção foi projetada, sendo que as soluções adotadas estão intimamente relacionadas com as ações atuantes. Assim, a correta determinação das cargas e sua distribuição na estrutura é essencial para verificação quanto à eficiência do modelo estrutural, ou seja, uma edificação que apresenta uma distribuição mais uniforme das cargas tende a ser mais econômica, portanto resulta em um modelo eficiente.

Na seção anterior abordamos as principais ações horizontais e os conceitos de segurança nas estruturas fundamentais para a correta concepção estrutural. Agora, iremos nos aprofundar na determinação das cargas verticais e nos procedimentos de distribuição que irão nos auxiliar a conceber estruturas mais eficientes.

Lembre-se, você foi responsável por uma parceria entre o escritório em que trabalha e um grande investidor, sendo preciso realizar um estudo de viabilidade econômica do empreendimento. Para isso, inicialmente devem ser determinadas as cargas aplicadas na estrutura e estabelecido o carregamento final em cada uma das paredes.

O empreendimento em questão é um edifício residencial em alvenaria estrutural de 6 andares (5 pavimentos tipos + térreo). Para quantificar o carregamento, você predefiniu a posição das paredes estruturais e elaborou um croqui ilustrado na Figura 2.5. e, com ele, precisa obter o carregamento atuante na laje do pavimento.

Figura 2.5 | Croqui da planta da unidade tipo



Fonte: elaborada pelo autor .

Não pode faltar

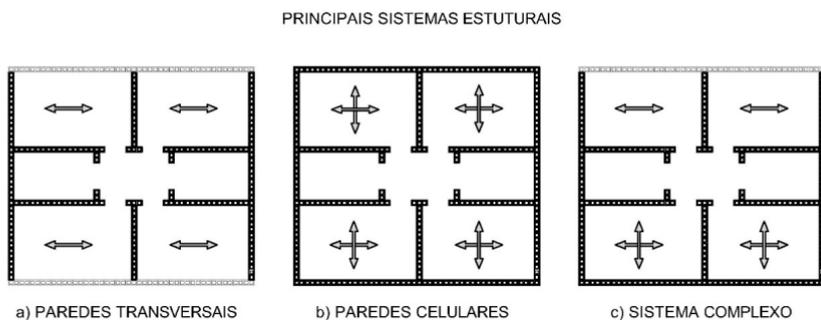
Principais sistemas estruturais

A escolha do arranjo estrutural deve ser tomada de modo a assegurar que a edificação possa acatar a finalidade à qual foi projetada, oferecendo segurança contra os estados limites

A concepção da estrutura no sistema de alvenaria consiste em definir quais paredes possuem função estrutural e quais não serão consideradas como elementos resistentes. Assim, para se iniciar o arranjo estrutural, normalmente é utilizado o projeto arquitetônico, definindo os espaços onde há necessidade de maior flexibilidade de *layout* e onde é possível aplicar os elementos estruturais. Ainda, é importante considerar a interação da estrutura com os demais projetos, prevendo as áreas de manutenção e a funcionalidade dos aparelhos.

O edifício também deve possuir inércia nas duas direções principais suficiente para resistir aos esforços laterais. Assim, as paredes estruturais são arranjadas a fim de garantir uma estabilidade lateral adequada. Em termos de classificação quanto ao desempenho estrutural, destacam-se três principais sistemas: paredes transversais, paredes celulares e sistemas complexos.

Figura 2.6 | Principais sistemas estruturais em alvenaria



Fonte: elaborada pelo autor.

A Figura 2.6 mostra os principais sistemas estruturais de alvenaria, sendo que os traços grossos representam as paredes com função estrutural, enquanto os traços finos expressam os elementos não estruturais, como alvenaria de vedação, vitrine de loja, aberturas para ventilação e outros.

- Paredes transversais

O sistema de paredes transversais, ilustrado na Figura 2.6(a), apresenta a parede externa na direção de maior comprimento com função de vedação e as demais paredes com função estrutural. Por esse motivo são utilizadas em conjunto de lojas, hotéis, escolas e outros. Nesse caso, as lajes usadas são armadas apenas em uma direção apoiando-se nas paredes estruturais.

- Paredes celulares

O arranjo estrutural nesse sistema possui paredes estruturais em ambas as direções, como pode ser observado na Figura 2.6(b) (b), proporcionando maior robustez e estabilidade. Porém limita a arquitetura da edificação, uma vez que todas as paredes possuem função estrutural, portanto não é possível modificar a planta. Esse sistema é geralmente utilizado na construção de residências e edificações de pequeno porte. As lajes empregadas normalmente são armadas em ambas as direções.

- Sistema complexo

O sistema complexo, conforme a Figura 2.6(c), representa os vários arranjos de paredes estruturais possíveis usando a combinação de paredes transversais e celulares. É aplicado quando a arquitetura exige algumas paredes externas sem função estrutural, e regiões mais rígidas, onde todas as paredes são consideradas estruturais. As lajes podem ser armadas tanto em uma direção quanto em duas, dependendo do caso em que estão sendo aplicadas.

Cargas provenientes das lajes e peso próprio

Os elementos estruturais quase sempre estão sujeitos a diversas formas de ações. As principais ações horizontais – empuxo, desaprumo e vento – foram tema da seção anterior. Aqui trataremos das principais ações verticais: cargas provenientes das lajes e o peso próprio da estrutura.

- Cargas provenientes das lajes

Constituem a parcela de carga vertical responsável pelo uso da estrutura, considerando os carregamentos variáveis, como os provocados pelo peso dos móveis, pessoas, utensílios e outros. Segundo a NBR 6120 (ABNT, 2000), as cargas acidentais devem ser consideradas uniformemente distribuídas e com um valor mínimo, de acordo com a tabela da referida norma. Os principais valores de cargas acidentais considerados são exibidos no Quadro 2.8.

Quadro 2.8 | Alguns valores de cargas acidentais, segundo a NBR 6120 (ABNT, 2000)

Local		Carga (kN / m^2)
Corredores	Com acesso ao público	3,0
	Sem acesso ao público	2,0
Edifícios residenciais	Dormitórios, sala, copa, cozinha e banheiro	1,5
	Despensa, área de serviço e lavanderia	2,0
Escadas	Com acesso ao público	3,0
	Sem acesso ao público	2,0
Escritórios	Salas de uso geral e banheiro	2,0
Forros	Sem acesso a pessoas	0,5
Terraços	Sem acesso ao público	2,0
	Com acesso ao público	3,0
	Inacessível a pessoas	0,5

Fonte: adaptada da NBR 6120 (ABNT, 2000, p. 3).



Assimile

As cargas provenientes das lajes são ações acidentais e devem ser consideradas no dimensionamento da estrutura. Elas atuam em função do seu uso e são referentes ao carregamento devido às pessoas, aos móveis, utensílios e veículos.

- Cargas provenientes do peso próprio

Consistem na parcela de carga vertical referente ao peso de todos os elementos construtivos fixos e demais instalações permanentes. O cálculo dessa carga pode ser feito com o auxílio da norma NBR 6120 (ABNT, 2000) ou com os detalhes descritos pelo fabricante, utilizando o peso específico dos materiais de construção e o volume do elemento definido em projeto. Os principais valores de peso específico dos materiais são exibidos no Quadro 2.9.

Quadro 2.9 | Alguns valores de peso específico aparente, de acordo com a NBR 6120

Materiais		Peso específico aparente (kN / m^3)
Rochas	Arenito	26,0
	Basalto, gnaiss	30,0
	Granito, mármore e calcário	28,0
Blocos artificiais	Lajotas, Cerâmicas	18,0
	Tijolo furado	13,0
	Tijolo maciço	18,0
	Bloco de concreto vazado*	14,0
Revestimentos e concretos	Argamassa de cal, cimento e areia	19,0
	Argamassa de cimento e areia	21,0
	Argamassa de gesso	12,5
	Concreto simples	24,0
	Concreto armado	25,0
Madeiras	Pinho e cedro	5,0
	Louro, imbuia, pau-óleo	6,5

*Conforme estabelecido pela NBR 15961-1 (ABNT, 2011), deve ser acrescentado o peso do graute, quando existente.

Fonte: adaptada da NBR 6120 (ABNT, 2000, p. 2).



Assimile

As cargas provenientes do peso próprio são ações permanentes que estão presentes em todas as edificações, por esse motivo possuem notável importância, devendo ser consideradas no dimensionamento de qualquer elemento estrutural. Esse tipo de carga é constituído pelo peso próprio da estrutura e pelo peso de todos os elementos construtivos fixos e instalações permanentes.



Refleta

A NBR 6120 (ABNT, 2000) fornece as propriedades físicas de diversos materiais. Porém, qual é o grau de precisão desses dados? Será que

podemos afirmar que qualquer argamassa constituída de cal, cimento e areia possuirá exatamente um peso específico de 19 kN/m^3 ? Onde poderíamos obter essas propriedades de maneira mais precisa para utilizarmos em nossos projetos?

Interação de paredes

Nas regiões de encontro entre paredes, parte das cargas pode ser transferida de uma parede para a outra, e esse efeito é considerado levando-se em conta a interação das paredes.

Segundo a NBR 15961-1 (ABNT, 2011), a interação entre os elementos adjacentes pode ser considerada somente quando houver garantia de que as forças de interação podem se desenvolver entre esses elementos, e que os elementos possuam resistência suficiente para transmiti-las. Assim, quando considerada, é necessária também a verificação da resistência quanto ao cisalhamento nas interfaces.

A interação entre paredes pode ser considerada apenas nos casos de amarração direta, ou seja, quando utilizadas as fiadas alternadas, sendo que no caso de amarrações indiretas e zonas de aberturas poderá ser considerada somente se houver comprovação experimental de sua eficiência.



Pesquise mais

A amarração entre as paredes garante um bom desempenho da estrutura e, ainda, evita uma série de patologias que poderiam ocorrer na região de encontro. Assim, pesquise mais sobre os modos de amarração direta e indireta, como são executados, e busque analisar por que a disposição desses blocos podem influenciar na capacidade de transferência de carga entre as paredes.

Procedimentos de distribuição

A distribuição das cargas poderá ocorrer apenas após a avaliação da interação entre paredes, caso constatado que não há capacidade de resistência que garanta a interação, cada elemento funcionará isoladamente, não havendo, portanto, a distribuição.

No caso da edificação oferecer condições adequadas, garantindo a interação entre paredes, podemos realizar os procedimentos de distribuição para uniformizar as cargas, resultando em estruturas mais

econômicas. Entre os procedimentos mais utilizados, destacam-se: paredes isoladas; grupos isolados de paredes; grupos de paredes com Interação.

- Distribuição das cargas pelo método das paredes isoladas

Nesse método, cada parede é considerada de forma isolada, sem interagir com os outros elementos estruturais. A carga em cada parede é obtida pela soma das cargas atuantes na parede nos pavimentos superiores.

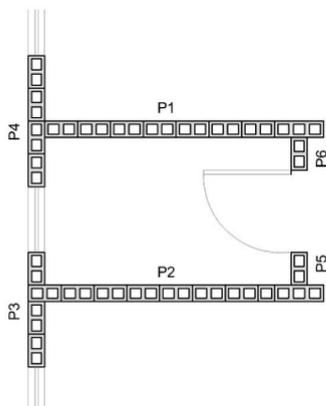
Como esse processo não considera a interação com os demais elementos estruturais, a carga atuante nas paredes se torna muito variável, com regiões apresentando carregamento elevado, o que torna necessário o uso de blocos de maior resistência. Assim, apesar de simples, esse método possui grande desvantagem econômica.



Exemplificando

Para um edifício de quatro pavimentos, calcule a tensão atuante em cada parede resultante da distribuição das cargas pelo método das paredes isoladas. Considere que as paredes ilustradas na Figura 2.7 representam todas as paredes da edificação.

Figura 2.7 | representação das paredes da edificação e seus respectivos carregamentos



CARREGAMENTO ATUANTE EM CADA PAREDE

Parede	Comprimento (m)	Carregamento (kN/m)	Total (kN)
P1	2,55	20,5	52,275
P2	2,55	19	48,45
P3	1,05	13,5	14,175
P4	1,2	14,5	17,4
P5	0,3	13	3,9
P6	0,3	13	3,9

Fonte: elaborada pelo autor.

Primeiramente devemos calcular o carregamento acumulado em cada parede, multiplicando o carregamento atuante indicado na Figura 2.7 pela quantidade de pavimentos, neste caso por 4. Considerando que o bloco utilizado possui largura de 14 centímetros, podemos obter a tensão em

cada parede dividindo a carregamento acumulado pela largura da parede. Assim, conseguimos os valores do Quadro 2.10.

Quadro 2.10 | Cálculo da tensão atuante pelo método da parede isolada

Parede	Carregamento acumulado (kN/m)	Largura da parede (m)	Tensão (kN/m ²)
P1	82,0	0,14	585,71
P2	76,0	0,14	542,86
P3	54,0	0,14	385,71
P4	58,0	0,14	414,29
P5	52,0	0,14	371,43
P6	52,0	0,14	371,43

Fonte: elaborada pelo autor.

- Distribuição das cargas pelo método dos grupos isolados de paredes

Os grupos são definidos pelo conjunto de paredes que possuem capacidade para transmitir as forças entre si. Normalmente são delimitadas pelas aberturas de janelas, paredes ou elementos não estruturais.

Nesse método, as ações atuantes nas paredes são distribuídas uniformemente dentro dos grupos, e estes são considerados isolados dos demais grupos. Sendo assim, a interação nos trechos de aberturas é desconsiderada.

Como esse processo considera a interação entre as paredes, resulta em uma tensão menor que o método das paredes isoladas, além de representar uma situação mais real, uma vez que na prática é incomum a inexistência de transferência de esforços entre paredes.



Exemplificando

Para o edifício apresentado no exemplo anterior, calcule a tensão atuante em cada parede resultante da distribuição das cargas pelo método dos grupos isolados.

Inicialmente, devemos identificar os grupos, separando os elementos que interagem entre si. Podemos identificar então os seguintes grupos:

Grupo 1, formado pelas paredes: P1, P4 e P6

Grupo 2, formado pelas paredes: P2, P3 e P5

O comprimento do grupo é calculado pela soma dos comprimentos das paredes. Enquanto a carga total refere-se a soma das cargas atuantes em cada parede, multiplicados pelo número de pavimentos da edificação.

Ou seja, para o grupo G1, temos:

$$G1 = (52,275 + 17,4 + 3,9) \cdot 4$$

$$G1 = 294,3 \text{ kN}$$

O carregamento do grupo é obtido pela divisão da carga total pelo comprimento do grupo. Em seguida, calculamos a tensão, dividindo o carregamento do grupo pela largura da parede, conforme indicados no Quadro 2.11.

Quadro 2.11 | Cálculo da tensão atuante pelo método dos grupos isolados.

Grupo	Comprimento (m)	Carga Total (kN)	Carregamento (kN/m)	Largura da parede (m)	Tensão (kN/m ²)
G1	4,05	294,30	72,67	0,14	519,07
G2	3,90	266,10	68,23	0,14	487,36

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Podemos notar que a tensão máxima obtida por este método é aproximadamente 11% menor que a tensão máxima obtida pelo método das paredes isoladas. Mesmo com esta redução, a segurança da estrutura continua garantida se as paredes apresentarem capacidade de interação. Logo, este método representa uma situação muito mais econômica que o apresentado anteriormente.

- Distribuição das cargas pelo método dos grupos de paredes com interação.

A distribuição dos esforços, nesse método, é feita de maneira muito semelhante ao dos grupos isolados. A única diferença é que nesse processo é considerada uma interação entre os grupos pelas aberturas. Porém, como a interação nas aberturas não ocorre ao longo de toda a parede, é preciso determinar uma taxa de interação que funcionará a fim de regular a quantidade de carga que seria distribuída nas regiões de abertura.

Ainda, conforme a NBR 15961-1 (ABNT, 2011), a interação entre os elementos nas zonas de aberturas poderá ser considerada somente se houver comprovação experimental de sua eficiência.

Para os casos em que é permitido levar em conta as interações na região de abertura, podemos calcular a carga no grupo através da seguinte equação:

$$d_i = (q_i - q_m) \cdot (1 - t)$$

$$q_i = q_m + d_i$$

Em que,

d_i É a diferença de carga do grupo em relação à média.

q_i É a carga atuante no grupo.

q_m É a carga média dos grupos que estão interagindo, calculada pela soma das cargas, dividida pela soma dos comprimentos.

t É a taxa de interação, definida de acordo com a capacidade de distribuição das cargas entre os grupos que estão interagindo.



Exemplificando

Para o edifício apresentado no primeiro exemplo, considere uma taxa de interação de 50% e calcule a tensão atuante em cada parede, resultante da distribuição das cargas pelo método dos grupos de paredes com interação.

Podemos utilizar as características de cada grupo já calculados no exemplo anterior, para determinar a carga média, assim obtemos:

$$q_m = \frac{72,67 + 68,23}{2} \rightarrow q_m = 70,45 \text{ kN} / \text{m}$$

Para o Grupo 1 podemos calcular a diferença de carga do grupo em relação à média:

$$d_i = (72,67 - 70,45) \cdot (1 - 0,5)$$

$$d_i = 1,11$$

Em seguida calcular a carga atuante no grupo já corrigida:

$$q_i = 70,45 + 1,11$$

$$q_i = 71,56 \text{ kN / m}$$

O mesmo procedimento é realizado para o Grupo 2, e então calculado a tensão, conforme disposto no Quadro 2.12.

Quadro 2.12: Cálculo da tensão atuante pelo método dos grupos de paredes com interação.

Grupo	Carregamento (kN/m)	q_m (kN/m)	q_m (kN/m)	d_j (kN/m)	q_j (kN/m)	Largura da parede (m)	Tensão (kN/m ²)
G1	72,67	70,45	187,00	1,11	71,56	0,14	511,14
G2	68,23			-1,11	69,34	0,14	495,29

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

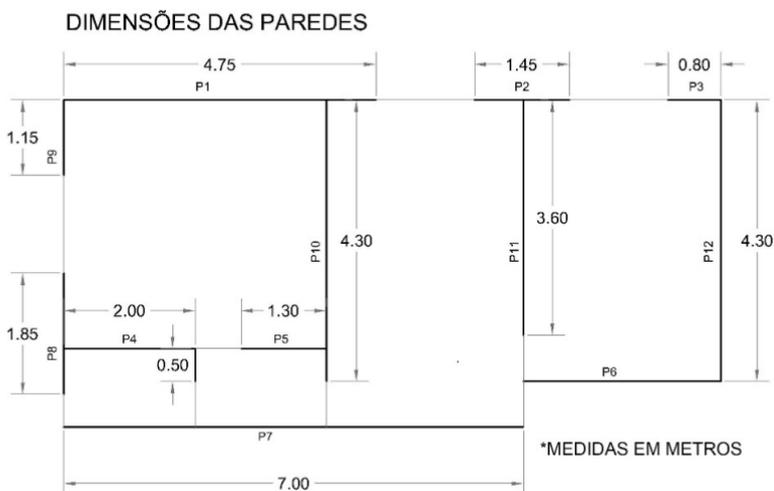
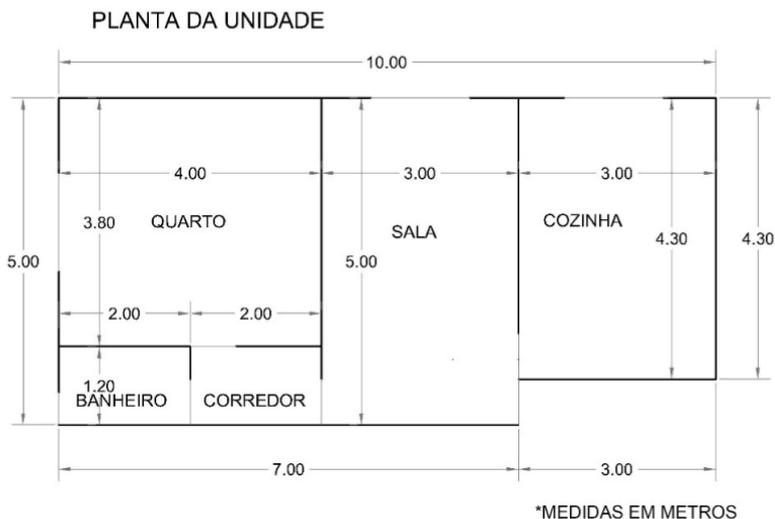
Podemos notar que neste método houve uma melhor distribuição das tensões nas paredes quando comparado com o método dos grupos isolados. Em alguns casos, este método se mostra mais econômico que os demais, porém para utilizá-lo, devemos nos atentar a necessidade de comprovação da eficiência da interação entre as paredes.

Sem medo de errar

A determinação das cargas é fundamental para a concepção estrutural do edifício, pois é a partir desta que são definidas a posição e a geometria dos elementos estruturais. No sistema de alvenaria, as cargas são responsáveis pela delimitação do espaço interno, uma vez que as paredes desempenham função estrutural. Elas serão posicionadas de modo que o esforço solicitante não ultrapasse a capacidade resistente da parede, sendo estes valores de cálculo. Desse modo, um dos primeiros passos na concepção estrutural é a determinação das cargas, para então validar a posição das paredes predefinidas.

Buscando dar continuidade à análise de viabilidade econômica do empreendimento, é fundamental a determinação das cargas verticais do edifício de 6 andares (5 pavimentos tipos + térreo). Assim, para quantificar o carregamento, você predefiniu a posição das paredes estruturais e elaborou um croqui, ilustrado na Figura 2.8.

Figura 2.8 | Croqui da planta da unidade tipo



Fonte: elaborada pelo autor.

Para esse croqui, determine o carregamento atuante na laje do pavimento. O carregamento atuante será composto pela combinação de ações das cargas permanentes e acidentais do pavimento. Para sua determinação, podemos iniciar a análise definindo os materiais e as cargas distribuídas na laje.

- Cargas permanentes:

Para uma estimativa inicial das cargas, adotamos o uso de laje maciça de 12 cm de espessura, contrapiso de 2 cm, piso em cerâmica em todos os ambientes e revestimento de gesso no teto. Assim, considerando os materiais citados, podemos consultar a NBR 6120 (ABNT, 2000) e obter o peso específico dos materiais ou obter informações com o fabricante. Então calculamos a carga referente a cada elemento e a carga total atuante, de acordo com o Quadro 2.13.

Quadro 2.13 | Cálculo da carga permanente atuante no pavimento

ELEMENTO	CARGA (kN / m^2)	TOTAL (kN / m^2)
Peso Próprio	$q = 25.0,12 = 3,00$	3,80
Contrapiso	$q = 20.0,02 = 0,40$	
Piso em Cerâmica	$q = 0,20$	
Revestimento em Gesso	$q = 0,20$	

Fonte: elaborada pelo autor.

- Cargas acidentais

Pela NBR 6120 (ABNT, 2000), temos as cargas variáveis para cada ambiente, sendo:

Quarto, Sala, Cozinha, Banheiro: $1,50 kN / m^2$

Corredor: $2,00 kN / m^2$

- Combinação das cargas

Para obtenção do carregamento de cálculo é necessário realizar as combinações de ações, identificando os carregamentos mais desfavoráveis que possuem probabilidade de ocorrência simultânea sobre a estrutura durante um período preestabelecido. No exemplo, utilizaremos apenas um carregamento, sendo este somente para fins didáticos.

$$Q_d = 1,25 \cdot Q_{p,p} + 1,5 \cdot Q_{sob}$$

Para a combinação crítica é encontrado o carregamento de cálculo, conforme no Quadro 2.14

Quadro 2.14 | Carregamento de cálculo atuante no pavimento

LOCAL	CARGA (kN / m^2)		CARREGAMENTO (kN / m^2)
	PERMANENTE	ACIDENTAL	
QUARTO	3,80	1,50	7,00
SALA	3,80	1,50	7,00
COZINHA	3,80	1,50	7,00
BANHEIRO	3,80	1,50	7,00
CORREDOR	3,80	2,00	7,75

Fonte: elaborada pelo autor.

Avançando na prática

Distribuindo as cargas verticais

Descrição da situação-problema

Você é responsável pelo projeto de um edifício em alvenaria estrutural. Após definir as cargas verticais atuantes no pavimento, você chegou ao carregamento das paredes, porém é preciso realizar a distribuição das cargas. Para isso, considere a planta do pavimento ilustrado na Figura 2.8 e no Quadro 2.15, que informa os carregamentos encontrados em cada parede.

Quadro 2.15 | Carga nas paredes do pavimento

PAREDE	Q (kN / m^2)	PAREDE	Q (kN / m^2)	PAREDE	Q (kN / m^2)
P1	80	P5	126	P9	155
P2	105	P6	90	P10	168
P3	180	P7	51	P11	130
P4	97	P8	126	P12	63

Fonte: elaborada pelo autor.

O edifício em questão vai ser construído com blocos de 14 cm de largura e possui paredes com amarração direta em todas as extremidades, porém sabe-se que não houve ensaios para comprovar a eficiência da interação entre as paredes. Assim, escolha um método de distribuição das cargas verticais e calcule as tensões atuantes em cada parede. Justifique sua escolha.

Resolução da situação-problema

A distribuição das cargas verticais tem por objetivo uniformizar o carregamento e, conseqüentemente, padronizar o bloco estrutural usado promovendo maior economia à construção. Desse modo, quanto mais preciso o método de distribuição mais próximo do valor real de carregamento estaremos e, portanto, mais uniformizadas as solicitações. Dos métodos recomendados – paredes isoladas, grupos isolados de paredes, grupos de paredes com interação –, o último é o mais preciso, no entanto, para sua utilização é necessária a comprovação da eficiência da interação entre as paredes, o que não será realizado. Logo, escolhe-se o método dos grupos isolados de paredes.

Inicialmente, devemos distinguir os grupos, separando os elementos que interagem entre si. Podemos identificar então os seguintes grupos:

- Grupo 1, formado pelas paredes: P1, P5, P9 e P10.
- Grupo 2, formado pelas paredes: P2, P11.
- Grupo 3, formado pelas paredes: P3, P6, P12.
- Grupo 4, formado pelas paredes: P4, P8.
- Grupo 5, formado pela parede: P7.

Assim, calculamos os comprimentos e as cargas pela soma de cada elemento pertencente ao grupo. A partir desses resultados, obtemos a área do grupo e a tensão, mostradas no Quadro 2.16.

Quadro 2.16 | Cálculo da tensão atuante pelo método dos grupos isolados

Grupo	Comprimento (m)	Carga Acumulada (kN/m)	Área do Grupo (m^2)	Tensão (kN / m^2)
G1	$4,75+1,30+1,15+4,30 = 11,50$	$80+126+155+168 = 529$	1,61	328,6
G2	$1,45+3,60 = 5,05$	$105+130 = 235$	0,71	331,0
G3	$0,80+3,00+4,30 = 8,10$	$180+90+63 = 333$	1,13	294,7
G4	$2,00+1,85+0,50 = 4,35$	$97+126 = 223$	0,69	323,2
G5	7,00	51	0,98	52,0

Fonte: elaborada pelo autor.

Faça valer a pena

1. Um engenheiro está fazendo o levantamento das cargas atuantes em um pavimento de uma edificação residencial. Pelo projeto pode-se observar que o piso a ser utilizado é granito com 2 centímetros de espessura, e será

feita uma regularização com argamassa de cimento e areia de 3 centímetros de espessura, ainda, foi adotada laje maciça em concreto armado com espessura de 12 centímetros. Considere que o levantamento das cargas está sendo feito para um corredor.

Determine as cargas permanente e acidental atuantes, de acordo com a NBR 6120 (ABNT, 2000) e escolha a alternativa correta:

- a) Carga permanente: 3,80 kN e Carga acidental: 1,50 kN.
- b) Carga permanente: 4,19 kN e Carga acidental: 2,00 kN.
- c) Carga permanente: 3,19 kN e Carga acidental: 1,50 kN.
- d) Carga permanente: 3,80 kN e Carga acidental: 2,00 kN.
- e) Carga permanente: 4,19 kN e Carga acidental: 1,50 kN.

2. A interação entre as paredes acontece devido à transferência de cargas entre uma parede e outra nas zonas de encontro. É preciso identificar quando a estrutura possui capacidade de interação para poder proceder com a distribuição dos esforços, caso contrário cada elemento deverá ser tratado de maneira isolada.

Sobre o conceito de transferência de cargas entre paredes é correto afirmar:

- a) Quando utilizada amarração indireta, não é possível considerar a interação entre paredes, mesmo se houver garantia das forças de interação através de ensaios experimentais.
- b) Quando utilizada a amarração direta, é permitida a consideração da interação entre as paredes, sendo dispensada a verificação da resistência quanto ao cisalhamento das interfaces.
- c) As juntas a prumo promovem um aspecto mais limpo da estrutura e são muito utilizadas para melhorar o desempenho da transferência de cargas entre paredes.
- d) A interação entre paredes pode ser considerada em qualquer caso, desde que o bloco utilizado apresente resistência à compressão adequada.
- e) No caso de amarrações indiretas é permitido considerar a interação entre as paredes somente se houver comprovação experimental de sua eficiência.

3. Sobre os métodos de distribuição das cargas verticais, é correto afirmar que:

I - No método das paredes isoladas, cada parede é considerada de forma isolada sem interagir com os outros elementos estruturais. Assim, na maioria dos casos resulta em uma solução mais econômica.

II - O método das paredes isoladas apresenta uma maneira simplificada de distribuição de cargas, apesar de ter uma desvantagem econômica em relação aos demais métodos.

III - No método dos grupos isolados de paredes é considerada uma interação entre os grupos pelas aberturas, desse modo traz resultados mais exatos.

IV - O método grupos de paredes com interação é o mais preciso dos três métodos estudados, no entanto é necessária comprovação experimental da eficiência da interação nas aberturas, independentemente se a amarração é direta ou indireta.

V - O método grupos de paredes com interação, apesar de ser mais trabalhoso, gera resultados mais confiáveis e econômicos.

Assinale a alternativa que contém todas as afirmações corretas:

- a) As afirmativas II, IV e V estão corretas.
- b) As afirmativas I e III estão corretas.
- c) As afirmativas II, III e IV estão corretas.
- d) As afirmativas I, IV e V estão corretas.
- e) As afirmativas II e IV estão corretas.

Seção 2.3

Distribuição de ações horizontais em edifícios de alvenaria estrutural

Diálogo aberto

Caro aluno,

Na seção anterior compreendemos a importância da distribuição das cargas para a definição de nosso modelo estrutural. Foram apresentados os métodos de distribuição das cargas verticais, a fim de uniformizar o carregamento na estrutura obtendo um modelo mais eficiente. Para prosseguir com nosso aprendizado, nesta seção, iremos abordar os métodos de distribuição das cargas horizontais, quando devemos realizar as considerações de trechos rígidos e como verificar a estabilidade global da nossa estrutura de contraventamento.

Lembre-se, você foi responsável por uma parceria entre o escritório em que trabalha e um grande investidor. Agora é preciso dar continuidade ao estudo de viabilidade econômica do empreendimento. Com os esforços calculados, seu chefe já conseguiu definir a maior parte dos materiais a serem utilizados, o que oferece uma boa ideia do custo do projeto, porém, para finalizar, será necessário calcular os esforços devido às forças horizontais em cada uma das paredes, confirmando assim se os materiais e geometrias adotados estão corretos.

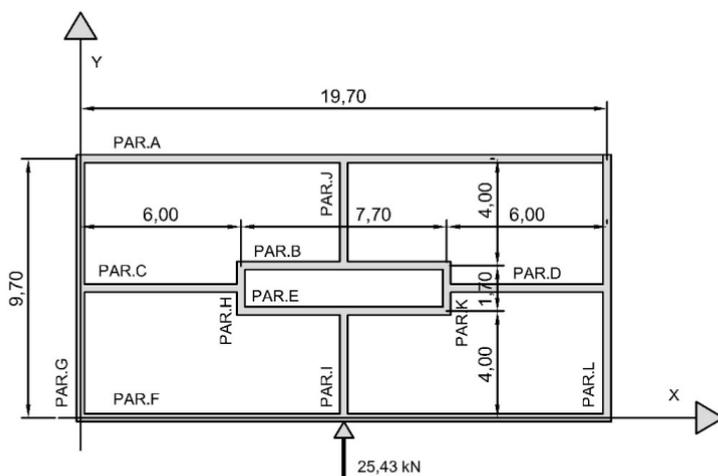
Aplicando a força horizontal já calculada na Seção 2.1 e indicada no Quadro 2.17 verifique a distribuição dos esforços horizontais em cada uma das paredes representadas na Figura 2.9, considerando a força horizontal referente ao 5º pavimento tipo. Para uma ideia mais precisa dos elementos de fundação, calcule também o momento na base do edifício em função dos esforços horizontais

Quadro 2.17 | Forças horizontais atuantes

Pavimento	F_a (kN)
Térreo	10,25
1º Pav.	20,51
2º Pav.	20,98
3º Pav.	22,90
4º Pav.	24,41
5º Pav.	25,43
Teto 5º Pav.	13,24

Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 2.9 | Dimensões dos painéis de alvenaria



Fonte: elaborada pelo autor.

Não pode faltar

Os edifícios normalmente estão sujeitos às ações laterais como vento, desaprumo e empuxo, e para resistir a esses esforços devemos estar atentos à arquitetura da edificação. Sua forma influencia diretamente na sua capacidade resistente. Uma planta simétrica e com distribuição de paredes semelhantes nas duas direções principais tende

a ter efeito de torção reduzida na planta do prédio. Enquanto plantas não simétricas possuem grandes efeitos de torção devido à ação lateral.

A rigidez lateral está associada à área total de paredes naquela direção. Assim, para reduzir o deslocamento lateral é necessário aumentar a rigidez, ou seja, aumentar o comprimento de paredes estruturais nesta direção ou sua espessura. As lajes também possuem grande influência, uma vez que são usualmente empregadas como diafragma rígido, distribuindo as ações laterais aos painéis de contraventamento. No entanto, segundo Ramalho e Corrêa (2003), para que as lajes possam ser consideradas como diafragma rígido, as peças pré-moldadas devem ser empregadas com restrições, especialmente para edifícios acima de 5 pavimentos, nos quais as cargas horizontais passam a ser mais significativas. Mesmo quando empregadas abaixo desse limite, deve-se utilizar nessas lajes uma capa de concreto moldado *in loco*, sendo posicionadas armaduras nas duas direções ortogonais.

Quando as condições de rigidez dos painéis e o efeito diafragma da laje são garantidos, ocorre a distribuição das ações laterais nas paredes de contraventamento, uniformizando os deslocamentos horizontais do edifício.

Distribuição de ações para contraventamentos simétricos

No caso de contraventamentos simétricos, o procedimento de distribuição é simples, uma vez que o deslocamento horizontal de todas as paredes do mesmo pavimento será uniformizado pela laje. Para realizarmos a distribuição das ações, podemos usar o método das paredes isoladas, que consiste em determinar a porção da carga recebida por cada parede de modo proporcional à rigidez, através das seguintes etapas:

1. Definir a soma de todas as inércias:

$$\sum I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$$

2. Calcular a rigidez relativa de cada painel:

$$R_i = \frac{I_i}{\sum I}$$

3. Calcular a ação atuante em cada painel:

$$F_i = F_{TOT} \cdot R_i$$

4. Determinar os diagramas de esforços solicitantes e as tensões em virtude dessas ações:

$$\sigma = \frac{M}{W}, \text{ em que } W = \frac{I}{y_{MAX}}$$

Distribuição de ações para contraventamentos assimétricos

O procedimento de distribuição para contraventamento assimétrico deve levar em conta também os esforços de rotação que surgirão por causa da diferença de rigidez entre os contraventamentos, havendo, portanto, uma diferença de deslocamento horizontal proporcional à distância da parede ao centro de rigidez do pavimento. Assim, o esforço atuante em um contraventamento assimétrico é dado pela soma da parcela referente à translação com a parcela devido à rotação.

Para uma parede de contraventamento retangular, a rigidez para flexão pode ser obtida através da seguinte equação:

$$R_b = \frac{E_a \cdot t}{4 \cdot \left(\frac{h}{L}\right)^3 + 3 \cdot \left(\frac{h}{L}\right)}$$

A partir da rigidez de cada parede, é possível calcular a posição do centro de rigidez do pavimento pela equação:

$$\bar{x} = \frac{\sum R_{yi} \cdot x_{ref,i}}{\sum R_{yi}} \quad \text{e} \quad \bar{y} = \frac{\sum R_{xi} \cdot y_{ref,i}}{\sum R_{xi}}$$

Em que

R_{yi}, R_{xi}	Representa a rigidez da parede de contraventamento em cada direção.
$x_{ref,i}, y_{ref,i}$	Representa a distância a partir do eixo de referência à parede de contraventamento.
\bar{x}, \bar{y}	Representa a distância do centro de rigidez até o eixo de referência.

Assim, calculamos a força cortante em virtude da translação, sendo esta proporcional à rigidez de cada parede:

$$V_{yit} = \frac{R_{yi}}{\sum R_{yi}} \cdot V_y$$

É a força cortante devido à rotação de cada parede:

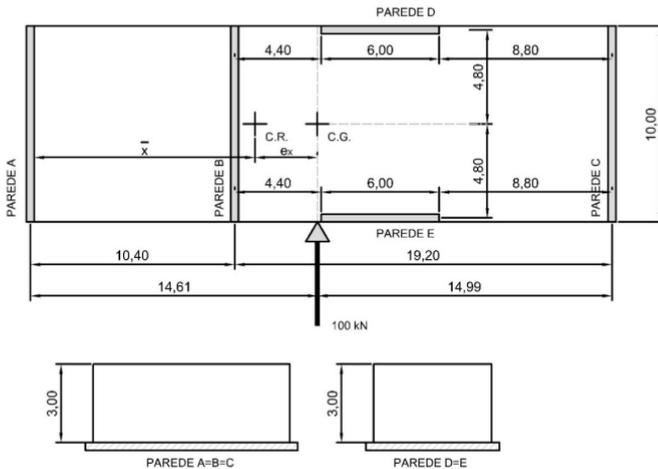
$$V_{yir} = \frac{x_i \cdot R_{yi}}{\sum (x_i^2 \cdot R_{yi} + y_i^2 \cdot R_{xi})} \cdot e_x \cdot V_y$$



Exemplificando

Para o pavimento ilustrado na Figura 2.10, distribua a força horizontal de 100 kN entre as paredes de contraventamento. Considere que a laje apresenta condições de rigidez suficientes para garantir a distribuição das cargas laterais e que todas as paredes possuem a mesma espessura e material.

Figura 2.10 | Planta do pavimento, com as dimensões dos painéis de contraventamento



Fonte: elaborada pelo autor.

Para resolver esse exemplo, inicialmente teremos que calcular a rigidez à flexão de cada parede, desse modo utilizaremos a equação anterior:

$$R_b = \frac{E_a \cdot t}{4 \cdot \left(\frac{h}{L}\right)^3 + 3 \cdot \left(\frac{h}{L}\right)}$$

Como a relação das paredes possuem o mesmo material e a mesma espessura, o termo $E_a \cdot t$ é constante e será omitido nessa análise. Assim, temos para cada parede:

$$R_{A=B=C} = \frac{1}{4 \cdot \left(\frac{3}{10}\right)^3 + 3 \cdot \left(\frac{3}{10}\right)} = 0,794$$

$$R_{D=E} = \frac{1}{4 \cdot \left(\frac{3}{6}\right)^3 + 3 \cdot \left(\frac{3}{6}\right)} = 0,400$$

Então, calculamos a posição do centro de rigidez do pavimento, representado por CR na Figura 2.10.

$$\bar{x} = \frac{\sum R_{yi} \cdot x_{ref,i}}{\sum R_{yi}} = \frac{R_A \cdot 0 + R_B \cdot 10,4 + R_C \cdot 29,6}{R_A + R_B + R_C}$$

$$\bar{x} = \frac{0,794 \cdot 0 + 0,794 \cdot 10,4 + 0,794 \cdot 29,6}{0,794 + 0,794 + 0,794} = 13,33m$$

A excentricidade da força lateral pode ser obtida por:

$$e_x = 14,61 - \bar{x} = 14,61 - 13,33 = 1,28m$$

Usando os valores já calculados podemos agora encontrar a parcela de força recebida por cada parede. Lembrando que a força total é dada pela soma da parcela referente à translação com a parcela devido à rotação.

A distribuição da força lateral em virtude da translação é proporcional à rigidez de cada parede, e como todas as paredes de contraventamento desse exemplo possuem a mesma geometria e, portanto, a mesma rigidez, a força lateral referente à translação se distribuirá igualmente entre as paredes.

$$V_{At} = V_{Bt} = V_{Ct} = \frac{R_A}{R_A + R_B + R_C} \cdot V_y$$

$$V_{At} = \frac{0,794}{0,794 + 0,794 + 0,794} \cdot 100 = 33,333kN$$

Já a força cortante devido à torção é proporcional à distância da parede ao centro de torção do edifício. Sendo assim, as paredes mais afastadas devem absorver um valor maior de força lateral.

$$V_{Ar} = \frac{-13,33,0,794}{358,08 + 18,43} \cdot 1,28 \cdot 100 = (-)3,60kN$$

$$V_{Br} = \frac{-2,93,0,794}{358,08 + 18,43} \cdot 1,28 \cdot 100 = (-)0,78kN$$

$$V_{Cr} = \frac{+16,27,0,794}{358,08 + 18,43} \cdot 1,28 \cdot 100 = (+)4,39kN$$

$$V_{Dr} = V_{Er} = \frac{+4,80,0,400}{358,08 + 18,43} \cdot 1,28 \cdot 100 = (+)0,65kN$$

Inicialmente, a resultante das forças laterais, representadas pela soma da parcela em razão da translação com a rotação, provocaria uma redução na sollicitação das paredes A e B, uma vez que a força de rotação nesses elementos possui sentido contrário à sollicitação de translação. No entanto, no projeto devemos prever uma inversão dos esforços, ou seja, a mesma força lateral também poderia ocorrer no sentido contrário, o que provocaria o acréscimo nas paredes A e B e redução nas paredes C e D. Desse modo, podemos considerar apenas o sentido mais desfavorável, simplesmente somando os esforços.

$$V_i = V_{it} + V_{ir}$$

$$V_A = 33,33 + 4,13 = 37,46kN$$

$$V_B = 33,33 + 0,90 = 34,23kN$$

$$V_C = 33,33 + 5,04 = 38,37kN$$

$$V_D = V_E = 0,75kN$$

Observamos que para edificações assimétricas a complexidade da análise de distribuição é muito maior, o que a torna impraticável em edifícios com vários pavimentos e com diferentes disposições das paredes. Para resolver esse problema, geralmente são utilizados programas computacionais que discretizam cada parede como um elemento pertencente a um pavimento, sendo ligada a um nó. O nó desempenha a função do diafragma rígido auxiliando na distribuição dos esforços entre os elementos.

Quando usados modelos computacionais é possível uma análise mais precisa da estrutura, levando em conta outros fatores que possam apresentar influência significativa na distribuição das forças horizontais. O principal deles é a consideração de trechos rígidos no pórtico.



Pavimentos assimétricos geram esforços de torção nas paredes de contraventamento, resultando em um custo mais elevado da estrutura. Por esse motivo, muitas vezes o projeto arquitetônico busca a simetria das unidades, o que representa um desafio no posicionamento das caixas de escadas e elevadores. Nos casos em que esses elementos não podem ser posicionados de modo simétrico, quais medidas precisam ser adotadas para minimizar os esforços de torção no pavimento?

Consideração de trechos rígidos

A consideração de trechos rígidos é feita quando existe a necessidade de simular o comportamento de elementos que possuem rigidez significativamente maior que os demais, como ocorre frequentemente com as lajes e vigas canaletas. Ramalho e Corrêa (2003) relatam que a colocação de barras nos eixos dos elementos faz com que o comprimento flexível seja na verdade maior que o seu comprimento real. Portanto, esse tipo de arranjo permite considerar um acréscimo no comprimento da viga, garantindo uma simulação mais realista do comportamento da edificação.

Para simular esse efeito, costuma-se considerar os nós como elementos infinitamente rígidos, representando a diferença de rigidez entre os elementos e a capacidade de absorver os esforços laterais.

A análise estrutural, considerando os trechos rígidos, é muito complexa e, por esse motivo, é normalmente empregada apenas nos modelos computacionais. Contudo, a não consideração desses trechos pode causar falhas na análise, uma vez que a parcela das cargas em cada parede pode ser significativamente alterada. Sendo assim, é recomendada sua consideração sempre que possível.

Estabilidade global da estrutura de contraventamento

Os edifícios em alvenaria estrutural, bem como as demais estruturas, estão sujeitos aos efeitos locais e globais. Nos primeiros, é verificada a estabilidade de cada elemento de maneira isolada, enquanto nos segundos é considerada toda a estrutura trabalhando em conjunto. Quando o equilíbrio da estrutura é analisado a partir da configuração geométrica inicial, temos a análise dos efeitos de

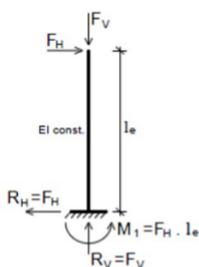
primeira ordem. No entanto, esta, muitas vezes não é suficiente para garantir a segurança da estrutura, sendo fundamental analisar seu equilíbrio a partir da condição deformada, a chamada análise dos efeitos de segunda ordem.



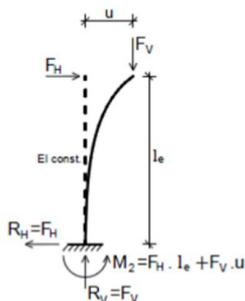
A análise de segunda ordem considera a não linearidade geométrica da estrutura e é obtida através da interação entre as forças e o deslocamento na estrutura, até convergirem para um valor final.

Figura 2.11 | Efeitos de 1ª e 2ª ordem

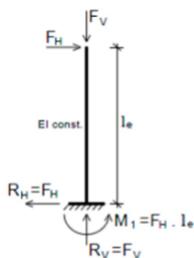
(a) Efeito de 1º ordem



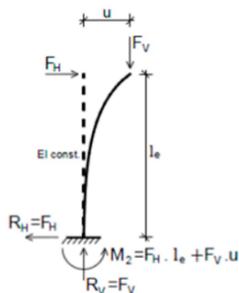
(a) Efeito de 2º ordem



(a) Efeito de 1ª ordem



(b) Efeito de 2ª ordem



Fonte: Moncayo (2011, s.p.).

O deslocamento gerado pela força horizontal representada na Figura 2.11(a), causa uma excentricidade nas cargas verticais, que ocasionam momentos que não existiam na condição inicial, ilustrados na Figura 2.11(b).

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), os efeitos de segunda ordem, cuja determinação deve considerar o comportamento não linear dos materiais, podem ser desprezados sempre que não representem acréscimo superior a 10% nas reações e nas solicitações relevantes da estrutura.



Pesquise mais

Os cálculos dos efeitos de segunda ordem, quase sempre, são realizados por programas computacionais, devido ao elevado número de processos necessários para conversão do valor. Durante a análise estrutural de um edifício é preciso informar ao programa qual método deve-se utilizar. Assim, é interessante conhecer os principais métodos. Pesquise mais sobre o método de pilar padrão e de curvatura aproximada, buscando conhecer suas diferenças e quando devem ser empregados.

Para verificar se é preciso considerar os efeitos de segunda ordem, podemos usar métodos simplificados para quantificar se esses efeitos seriam superiores a 10%, como o método do parâmetro α ou o método do parâmetro γ_z .

- Método do parâmetro α

$$\alpha = H \cdot \sqrt{\frac{P}{EI}}$$

Em que

H Representa a altura total do edifício.

P Representa o peso total do edifício.

Representa a rigidez à flexão do sistema de
EI contraventamento, sendo:

E O módulo de elasticidade para alvenaria constituída de blocos de concreto $E = 800 \cdot f_{pk}$.

I O momento de inércia do sistema de contraventamento.

α O parâmetro de instabilidade, devendo ser inferior a:

$\alpha \leq 0,7$ Para sistemas compostos apenas por pilares-parede.

$\alpha \leq 0,6$ Para sistemas mistos.

$\alpha \leq 0,5$ Para sistemas compostos apenas por pórticos.



Para um painel de 5 metros de comprimento e 6 metros de altura, verifique se é relevante considerar os efeitos de segunda ordem. Leve em conta que a parede possui espessura de 14 cm com peso total de 50 kN e, para sua construção, foram utilizados blocos de resistência característica à compressão de 8 MPa.

Iniciamos a resolução do problema calculando a rigidez à flexão do sistema na direção mais desfavorável. Para uma seção retangular, podemos obter a inércia através da equação:

$$I = \frac{b \cdot h^3}{3} = \frac{500 \cdot 14^3}{3} = 457333,33 \text{ cm}^4$$

Para blocos de concreto, estimamos o módulo de elasticidade usando a resistência característica à compressão do bloco.

$$E = 800 \cdot f_{pk} = 800 \cdot 8 = 6400 \text{ Mpa} = 640 \text{ kN / cm}^2$$

Com os valores obtidos calculamos o parâmetro alfa.

$$\alpha = H \cdot \sqrt{\frac{P}{E \cdot I}} = 600 \cdot \sqrt{\frac{50}{640 \cdot 457333,33}} = 0,25$$

Como o parâmetro se encontra abaixo do limite, $\alpha \leq 0,5$, a análise de segunda ordem é dispensada.

- Método do parâmetro γ_z

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M}{M_1}}$$

Em que,

ΔM é o acréscimo de momento devido ao deslocamento horizontal.

M_1 é o momento de 1ª ordem.

γ_z é o parâmetro de instabilidade, devendo ser inferior a 1,10.

Esse método é especialmente interessante, pois nos permite estimar o acréscimo devido aos efeitos de segunda ordem usando apenas os valores de primeira ordem.

Sem medo de errar

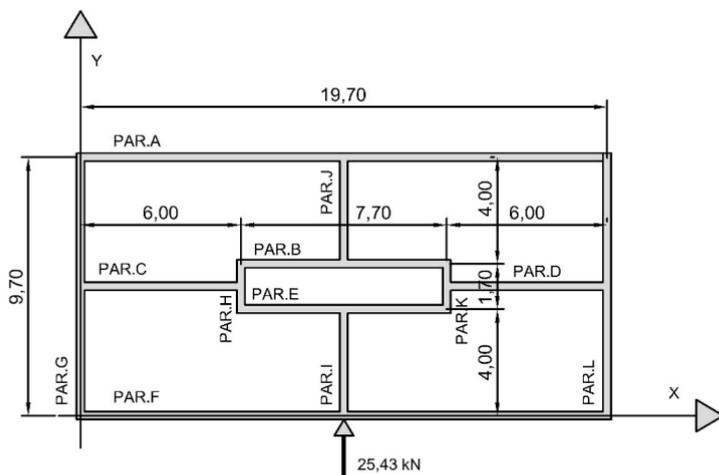
Utilizando as forças horizontais já calculadas na Seção 2.1 e indicadas no Quadro 2.18, verifique a distribuição dos esforços em cada uma das paredes representadas na Figura 2.12, considerando a força horizontal referente ao 5º pavimento tipo. Para uma ideia mais precisa dos elementos de fundação, calcule também o momento na base do edifício em virtude dos esforços horizontais

Quadro 2.18 | Forças horizontais atuantes

Pavimento	F_a (kN)
Térreo	10,25
1º Pav.	20,51
2º Pav.	20,98
3º Pav.	22,90
4º Pav.	24,41
5º Pav.	25,43
Teto 5º Pav.	13,24

Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 2.12 | Dimensões dos painéis de alvenaria



Fonte: elaborada pelo autor.

Como a planta apresentada é simétrica, podemos resolver o exemplo utilizando os passos mostrados anteriormente. Iniciamos a solução com a soma de todas as inércias.

$$\sum I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$$

Para o cálculo da inércia de cada parede é necessária a aplicação do teorema de Steiner, considerando a posição do eixo x ilustrado na Figura 2.11.

$$I_i = I_{ix} + A.d^2$$

Em que

I_{ix} Representa o momento de inércia da parede sobre o próprio centro de massa.

A Representa a área da parede.

d Representa a distância entre o centro de massa da parede e o eixo x adotado.

Em seguida, calculamos a rigidez relativa de cada painel e a parcela de força recebida de maneira proporcional à rigidez calculada.

$$R_i = \frac{I_i}{\sum I} ; F_i = F_{TOT} . R_i$$

Assim, podemos obter a força em cada parede, de acordo com O Quadro 2.19.

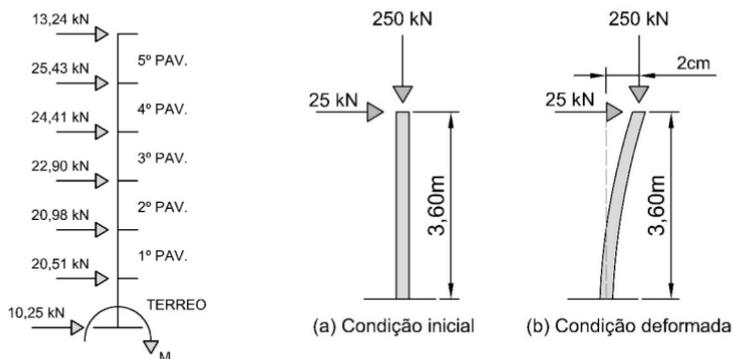
Quadro 2.19 | Procedimentos de cálculo da força absorvida por cada painel

PAREDE	d (m)	b (m)	h (m)	$I_{ix} (m^4)$	$I_i (m^4)$	R_i	$F_i (kN)$
PAR. A	9,70	19,70	0,14	0,0180	259,5182	0,4689	37,51
PAR. B	5,70	7,70	0,14	0,0070	35,0313	0,0633	5,06
PAR. C	4,85	6,00	0,14	0,0055	19,7644	0,0357	2,86
PAR. D	4,85	6,00	0,14	0,0055	19,7644	0,0357	2,86
PAR. E	4,00	7,70	0,14	0,0070	17,2550	0,0312	2,49
PAR. F	0,00	19,70	0,14	0,0180	0,0180	0,0000	0,00
PAR. G	4,85	0,14	9,70	42,5914	74,5350	0,1347	10,77
PAR. H	4,85	0,14	1,70	0,2293	5,8276	0,0105	0,84
PAR. I	2,00	0,14	4,00	2,9867	5,2267	0,0094	0,76
PAR. J	7,70	0,14	4,00	2,9867	36,1891	0,0654	5,23
PAR. K	4,85	0,14	1,70	0,2293	5,8276	0,0105	0,84
PAR. L	4,85	0,14	9,70	42,5914	74,5350	0,1347	10,77
				$\sum I =$	553,4923		

Fonte: elaborada pelo autor.

Para definir qual fundação será usada, uma das etapas é quantificar o momento na base da edificação gerada pelas forças horizontais, assim aplicamos as cargas do Quadro 2.18 em cada pavimento, conforme Figura 2.13. Como a distância entre os pavimentos definida nas seções anteriores era de 3 metros, podemos calcular o momento total pela soma das parcelas de cada força horizontal.

Figura 2.13 | Dimensões dos painéis de alvenaria



Fonte: elaborada pelo autor.

Resolução da situação-problema

A fim de que ocorra a dispensa dos efeitos de segunda ordem, os acréscimos de esforços na condição deformada devem ser inferiores a 10%, ou seja:

$$\gamma_z \leq 1,10$$

Assim, podemos aplicar a equação para verificar o valor do parâmetro:

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M}{M_1}}$$

Em que o momento de primeira ordem, gerado pela força horizontal, é dado por:

$$M_1 = 25 \cdot 3,60 = 90 \text{ kN.m}$$

E o acréscimo de momento devido ao deslocamento horizontal pode ser obtido por:

$$\Delta M = 250.0,02 = 5kN$$

Com os valores obtidos podemos calcular o parâmetro γ_z .

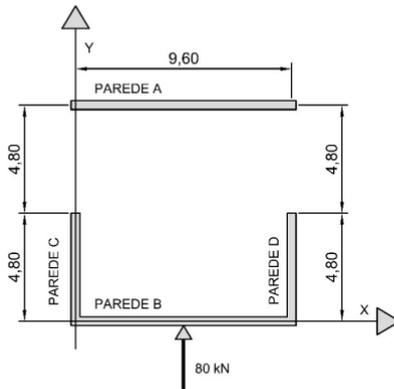
$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{5}{90}} = 1,06$$

Como $1,06 \leq 1,10$, a consideração dos efeitos de segunda ordem pode ser dispensada.

Faça valer a pena

1. Um engenheiro está realizando a análise da distribuição das forças horizontais em um edifício simétrico, de acordo com a Figura 2.14. Sabendo que todas as paredes serão executadas com blocos de 14 cm e de mesma resistência, calcule a resultante horizontal na Parede C.

Figura 2.14 | Planta do pavimento



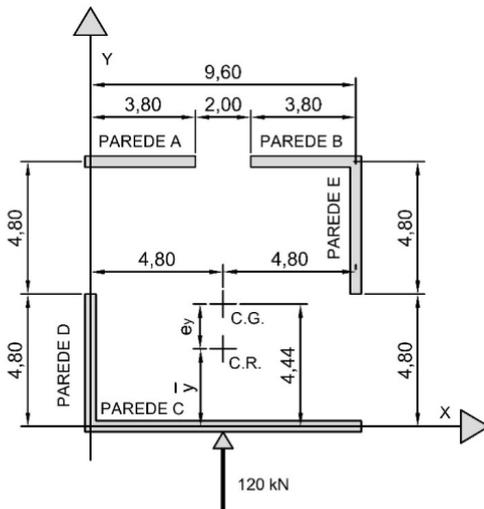
Fonte: elaborada pelo autor.

Assinale a alternativa que apresenta o valor da carga horizontal atuante na Parede C.

- a) A parede C apresenta uma resultante horizontal de 0,00 kN.
- b) A parede C apresenta uma resultante horizontal de 45,81 kN.
- c) A parede C apresenta uma resultante horizontal de 6,09 kN.
- d) A parede C apresenta uma resultante horizontal de 69,81 kN.
- e) A parede C apresenta uma resultante horizontal de 5,09 kN.

2. Após uma alteração na arquitetura, a disposição das paredes resultou em uma forma assimétrica, sendo necessário realizar novamente a distribuição das forças horizontais. Para a planta da Figura 2.15, calcule a resultante horizontal na Parede D. Considere que todas as paredes possuem 3 m de altura e serão executadas com blocos de 14 cm e de mesma resistência.

Figura 2.15 | Planta do pavimento assimétrico



Fonte: elaborada pelo autor.

Assinale a alternativa que apresenta o valor da carga horizontal atuante na Parede D:

- A parede D apresenta uma resultante horizontal de 2,76 kN.
- A parede D apresenta uma resultante horizontal de 15,37 kN.
- A parede D apresenta uma resultante horizontal de 59,49 kN.
- A parede D apresenta uma resultante horizontal de 20,37 kN.
- A parede D apresenta uma resultante horizontal de 40,37 kN.

3. Considere um painel de 8 m de comprimento e 5 m de altura, constituído por blocos de 14 cm de espessura e 6 Mpa de resistência à compressão. Sabendo que o peso próprio da estrutura é 80 kN, utilize o método do parâmetro alfa para analisar a necessidade de consideração dos efeitos de segunda ordem.

Assinale a alternativa correta:

- O parâmetro alfa possui valor de 0,38, o que indica a necessidade de consideração dos esforços de segunda ordem.

- b) O parâmetro alfa possui valor de 0,52, sendo possível dispensar as considerações dos esforços de segunda ordem.
- c) O parâmetro alfa possui valor de 0,27, o que indica a necessidade de consideração dos esforços de segunda ordem.
- d) O parâmetro alfa possui valor de 0,38, sendo possível dispensar as considerações dos esforços de segunda ordem.
- e) O parâmetro alfa possui valor de 0,52, o que indica a necessidade de consideração dos esforços de segunda ordem.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15961-1**: Alvenaria Estrutural – blocos de concreto – Parte 1: Projetos. Rio de Janeiro, 2011.
- – ABNT. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- – ABNT. **NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 2000.
- – ABNT. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 2013.
- – ABNT. **NBR 6136**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural. Rio de Janeiro, 2014.
- – ABNT. **NBR 8681**: Ações e segurança nas estruturas – Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.
- MONCAYO, W. J. Z. **Análise de segunda ordem global em edifícios com estruturas de concreto armado**. 2011. Tese (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, 2011.
- PARSEKIAN, Guilherme A.; HAMID, Ahmad A; DRYSDALE, Robert G. **Comportamento e dimensionamento de alvenaria estrutural**. São Carlos: Edufscar, 2013.
- RAMALHO, Marcio A.; CORRÊA, Márcio R. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. São Paulo: Pini, 2003.

Critérios de dimensionamento

Convite ao estudo

Caro aluno, seja bem-vindo a mais uma etapa. Nas unidades anteriores fomos apresentados aos conceitos básicos de alvenaria, aprendemos a determinar os esforços solicitantes, como realizar as combinações de ações e sua distribuição nos painéis de alvenaria. Estes conceitos são fundamentais para elaborarmos a concepção estrutural de nossa edificação. Avançando em nosso estudo, esta unidade tem como objetivo apresentar os métodos de dimensionamento de uma edificação em alvenaria estrutural, visando aplicar os conceitos já apresentados e realizar o dimensionamento dos elementos estruturais.

Vamos imaginar que você trabalha em uma empresa especializada em projetos estruturais e se arriscou propondo um projeto a um investidor que pode definir o futuro de sua carreira.

Situado em uma pequena cidade no interior, um dos edifícios dessa empresa tem 6 andares, finalidade de uso residencial e possui um muro de arrimo para a contenção de terra dos lotes vizinhos. Após uma análise técnica da viabilidade da proposta, fica claro que os resultados são muito promissores e que, se você souber aproveitar o momento, conseguirá resultados muito interessantes. O investidor fica entusiasmado e convencido de que a proposta pode resultar em um excelente retorno de capital. Deste modo, ele tem pressa em começar o projeto para não perder a oportunidade.

Agora, para não haver perda de capital, será necessário apresentar os resultados que você prometeu. Como engenheiro responsável pelo projeto, você deve dimensionar a estrutura do edifício e garantir sua segurança.

A fim de fornecer os meios para solucionar a situação apresentada, dividimos o conteúdo em três seções, sendo que na primeira serão abordados temas relacionados às resistências das unidades e argamassas, às características geométricas que influenciam em sua resistência e aos ensaios necessários. Em seguida, na Seção 2, abordaremos as informações pertinentes ao dimensionamento da alvenaria não armada aos esforços de compressão, flexão e cisalhamento. Por fim, na Seção 3, abordaremos as verificações necessárias para o dimensionamento da alvenaria armada quanto aos esforços de compressão, flexão e cisalhamento.

Seção 3.1

Resistência das unidades e argamassa

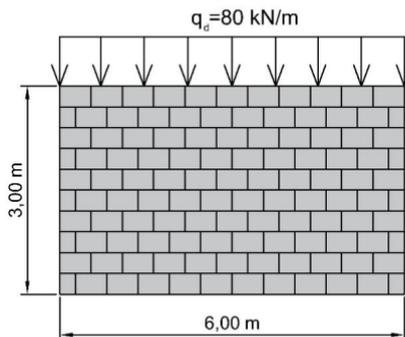
Diálogo aberto

Caro aluno,

Durante as últimas seções tratamos sobre os principais esforços solicitantes e sua distribuição na estrutura, com o intuito de determinar o carregamento de cálculo. Ao longo das próximas seções, utilizaremos os conceitos aprendidos e nos aprofundaremos nos métodos de dimensionamento e verificação dos elementos de alvenaria. Assim, daremos início a esta unidade, abordando nesta seção o processo de fabricação das unidades, suas propriedades físico-mecânicas, as propriedades de resistência da argamassa, as características geométricas da alvenaria que influenciam em sua resistência e os ensaios necessários para caracterização dos materiais.

Lembre-se de que você é responsável pelo projeto estrutural de um edifício e para iniciar o dimensionamento da estrutura é fundamental o conhecimento prévio de algumas propriedades dos elementos empregados. Para esse fim, você realiza os ensaios para a caracterização dos materiais; do ensaio padrão de prisma é obtida uma resistência à compressão característica do prisma de 6 MPa. A partir do valor obtido pelo ensaio verifique se a parede ilustrada na Figura 3.1 resiste às solicitações.

Figura 3.1 | Esquema de carregamento da parede



Fonte: elaborada pelo autor.

Considere uma carga distribuída de cálculo de 80 kN/m e a parede engastada em todas as extremidades com largura de 6 m e altura de 3 m, executada com blocos de 14 cm de espessura.

Para resolver a situação proposta, será necessário conhecermos um pouco mais sobre as propriedades físico-mecânicas das unidades de alvenaria e as principais relações entre resistência do bloco, prisma e parede.

Não pode faltar

O sistema construtivo de alvenaria apresenta grandes vantagens sobre os sistemas tradicionais na execução de edifícios de pequeno e médio porte. Porém, quando observamos as edificações em construção, podemos notar uma tendência na utilização de alvenaria estrutural em edificações de baixa renda. Diversos fatores contribuem para essa propensão, sendo que o mais significativo é a dificuldade em encontrar blocos com qualidade, que atendam aos requisitos de projeto. Esta dificuldade faz que os blocos de concreto sejam associados à má qualidade da obra, embora não seja um fato verídico. Para mudar o atual cenário e incentivar a prática de construção de edifícios em alvenaria, faz-se necessário entendermos o processo de manufatura destas unidades e conhecer suas especificações técnicas, para que possamos exigir em nossas obras peças de qualidade.

MANUFATURA DAS UNIDADES

A base para fabricação dos blocos de concreto utilizados na alvenaria é obtida a partir da mistura de cimento Portland, agregados e água. Segundo Marques et al. (2008), os agregados, areia e pó de pedra representam de 75 a 80% do volume total do concreto. A NBR 6136 (ABNT, 2016) permite, ainda, a inclusão de escórias de alto forno, cinzas volantes, argilas expandidas e outros agregados, com a condição de que o produto final atinja os requisitos mínimos de resistência e que a dimensão máxima característica do agregado seja inferior à metade da menor espessura de parede do bloco.

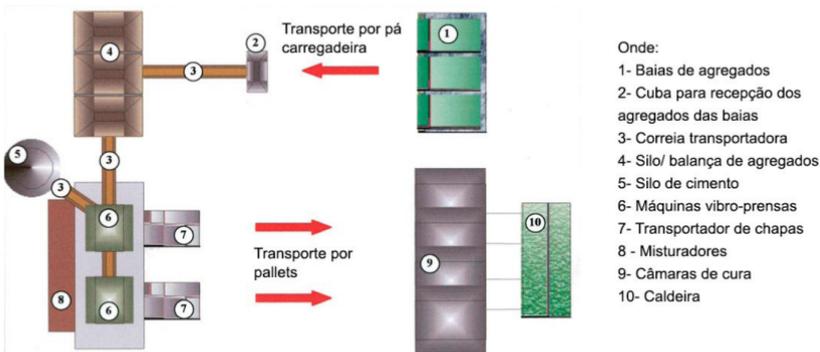
Os agregados usualmente são armazenados em baias, de acordo com sua granulometria, de forma a evitar contaminações e facilitar a dosagem do material. Com os materiais condicionados é realizada a dosagem da mistura. O uso de aditivos e adições é permitido desde

que não acarretem efeitos prejudiciais ou promovam a deterioração do concreto ou de materiais próximos, sendo necessária a devida comprovação por meio de ensaios. Os materiais são dosados de acordo com o tipo de bloco a ser confeccionado, sendo que cada traço define um produto de característica diferente.

Para a realização da mistura, os materiais, já nas proporções adequadas de água, cimento e agregados, são levados ao misturador por meio de esteiras. Os equipamentos utilizados para a mistura devem garantir a homogeneização do produto. Em seguida, é realizada a conformação da mistura, sendo o material compactado por meio de vibro-prensas pneumáticas ou hidráulicas nas matrizes de blocos, que irão garantir sua geometria. Os blocos produzidos nesta etapa devem se apresentar homogêneos e compactos, com arestas vivas e sem trincas, fraturas ou outros defeitos.

Ao sair da conformação, o bloco deve ser remanejado para uma câmara a vapor. Os fatores climáticos aceleram a perda de água, causando seu enfraquecimento. Por este motivo, é importante que as unidades sejam encaminhadas para a câmara a vapor, onde ocorrerá a cura do concreto em um ambiente controlado, sendo regulada a temperatura, umidade e ventilação. Após o período de cura, alguns blocos de cada lote são encaminhados ao laboratório para realização de testes de resistência à compressão, sendo estes repetidos após o 28º dia. Os produtos finais são identificados por lotes e encaminhados para o estoque. A Figura 3.2 ilustra o layout de uma indústria de blocos de concreto, com identificação de cada equipamento.

Figura 3.2 | Layout de uma indústria de blocos de concreto



Fonte: adaptado de Frasson (2000).

CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO USO E PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS

A aplicação dos blocos de concreto depende de suas propriedades mecânicas. Blocos com baixa capacidade de suporte apresentam maior vantagem econômica, sendo ideal para uso em paredes de vedação, enquanto blocos com alta capacidade de suporte possuem um custo mais elevado, sendo normalmente empregados em elementos estruturais. Para distinguir os diferentes blocos existentes e suas aplicações, a NBR 6136 (ABNT, 2016) classifica os blocos quanto ao uso, determinando a resistência mínima para cada função.

- Classe A: blocos com função estrutural para aplicação abaixo ou acima do nível do solo. Devem possuir resistência característica à compressão axial obtida aos 28 dias superior a 8,0 Mpa.
- Classe B: blocos com função estrutural para aplicação acima do nível do solo. Devem possuir resistência característica à compressão axial obtida aos 28 dias superior a 4,0 Mpa.
- Classe C: blocos sem função estrutural. Devem possuir resistência característica à compressão axial obtida aos 28 dias superior a 3,0 Mpa. Seu uso com função estrutural é permitido desde que os blocos possuam largura de 115 mm e sejam aplicados em edificações de no máximo 2 pavimentos. Permite-se, ainda, o uso do bloco com função estrutural desde que possuam larguras de 140 mm e 190 mm, aplicado em edificações de no máximo 5 pavimentos.

PROPRIEDADES E RESISTÊNCIA DA ARGAMASSA

O desempenho de uma argamassa está relacionado com suas propriedades no estado fresco e no estado endurecido. No estado fresco, a argamassa deve apresentar boa trabalhabilidade e consistência, visando facilitar o assentamento dos blocos e selando as juntas para evitar a entrada de água. A trabalhabilidade é a propriedade que exprime a facilidade de manuseio e espalhamento da argamassa, sendo influenciada por vários fatores, como a quantidade de água empregada, a granulometria dos agregados e a forma dos grãos, enquanto que a consistência está relacionada à quão mole ou rígida é a

argamassa, dependendo do tempo de endurecimento e de sua capacidade de reter água.

Já no estado endurecido, a argamassa deve propiciar a solidarização das unidades, transferindo as tensões de maneira uniforme, devendo apresentar também capacidade para absorver pequenas deformações. A aderência no estado endurecido deve garantir a solidarização das unidades, proporcionando capacidade de absorver tensões de cisalhamento e tração.

Vale ressaltar que ao contrário do graute o objetivo principal da argamassa não é obter maior capacidade de resistência à compressão. No entanto, deve-se especificar resistências adequadas ao uso pretendido. Segundo Parsekian, Hamid e Drysdale (2013), dentro da faixa de resistência considerada adequada, um grande aumento na resistência à compressão da argamassa traz pouca diferença para a resistência à compressão da alvenaria. Um aumento de 100% na resistência à compressão da argamassa proporciona um aumento menor que 10% na resistência à compressão da alvenaria.

COLOCAÇÃO E ACABAMENTO DA ARGAMASSA

O assentamento da alvenaria é uma etapa importante da execução da estrutura. A espessura da junta de assentamento influencia diretamente na resistência final da parede. A resistência à compressão do bloco é maior do que a da argamassa, assim, um aumento de sua espessura pode reduzir significativamente a capacidade de suporte do elemento. Para garantir a resistência de projeto devemos ter um rígido controle de sua execução para evitar espessuras acima do limite permitido.

Na etapa de projeto, a paginação da parede deve prever o levantamento dos painéis de alvenaria, considerando um número inteiro de blocos e uma espessura constante das juntas, que normalmente são aplicadas com 1 cm de espessura. Em alguns casos a espessura da junta pode resultar em valores um pouco maiores, porém sempre devemos nos atentar à resistência especificada em projeto.

O procedimento para aplicação da argamassa depende de sua finalidade. Entretanto, deve-se garantir que a superfície onde ocorrerá o assentamento se encontre limpa e sem a presença de

óleos ou graxas e que o acabamento da argamassa ocorra de modo a preencher a junta e regularizar a base.

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DOS ELEMENTOS DE ALVENARIA QUE INFLUENCIAM EM SUA RESISTÊNCIA

A NBR 15961-1 (ABNT, 2011) define algumas propriedades geométricas que influenciarão diretamente no cálculo para obtenção da resistência das peças de alvenaria estrutural. A seguir, são apresentados os principais conceitos.

ESPESSURA EFETIVA PARA PILARES E PAREDES PORTANTES

A espessura efetiva (t_{ef}) é um conceito utilizado em paredes com enrijecedores, em que a espessura da parede utilizada no cálculo é majorada por um coeficiente sigma, com o objetivo de simular o ganho de rigidez devido ao uso dos enrijecedores. Para uma parede sem enrijecedor, a espessura efetiva será igual a sua própria espessura, não sendo considerado os revestimentos. Para edificações com mais de dois pavimentos, a NBR 15961-1 (ABNT, 2011) determina que a espessura efetiva da parede seja superior a 14 cm.



Pesquise mais

O emprego de enrijecedores nos painéis de alvenaria proporciona maior rigidez aos esforços laterais. Eles são muito utilizados como uma medida para redução da esbeltez dos elementos. A norma NBR 15961-1 (ABNT, 2011), disponível na biblioteca virtual, traz em seu item 9.4.2 os critérios de cálculo da espessura efetiva e as considerações sobre os enrijecedores. Estude esse item da norma, procure entender como os coeficientes devem ser aplicados e quando devem ser utilizados.

ALTURA EFETIVA

A altura efetiva (h_{ef}) é um dos parâmetros mais importantes para o cálculo da esbeltez. A NBR 15961-1 (ABNT, 2011) determina para pilares e paredes que a altura efetiva é igual:

- À altura do elemento, se houver travamentos que restrinjam os deslocamentos horizontais ou as rotações das suas extremidades na direção considerada.

- Ao dobro da altura do elemento, se uma extremidade for livre e se houver travamento que restrinja o deslocamento horizontal e a rotação na outra extremidade na direção considerada.

ESBELTEZ

O índice de esbeltez é calculado pela razão entre a altura efetiva e a espessura efetiva:

$$\lambda = \frac{h_{ef}}{t_{ef}}$$

A NBR 15961-1 (ABNT, 2011) apresenta os valores máximos permitidos para a esbeltez, conforme Quadro 3.1.

Quadro 3.1 | Valores máximos do índice de esbeltez de paredes e pilares

Não armados	24
Armados	30

Fonte: ABNT (2011, p. 22).



Exemplificando

Para um muro de alvenaria estrutural armada com 8 metros de altura, faça a verificação da esbeltez limite. Considere o painel engastado na base e livre no topo, constituído por blocos de 14 cm de largura e sem utilização de enrijecedores.

$$t_{ef} = 0,14$$

$$h_{ef} = 2.3,0 = 6,0$$

$$\lambda = \frac{h_{ef}}{t_{ef}}$$

$$\lambda = \frac{6,0}{0,14} = 42,86$$

Para paredes armadas, temos que a esbeltez limite deve ser menor que 30, deste modo a situação apresentada não passa na verificação.



Podemos observar que a altura da parede utilizada neste exemplo representa, de maneira aproximada, a altura das paredes usualmente empregadas em residências. No entanto, concluímos que para a situação adotada a parede não satisfaz as exigências normativas quanto à esbelteza. Quais considerações poderiam ser feitas para reduzir a esbelteza deste elemento e satisfazer os limites normativos?

ENSAIOS

A alvenaria estrutural somente deverá ser executada com a garantia de que as condições de qualidade dos componentes sejam atendidas. Para isso é preciso fazer a caracterização prévia dos materiais utilizados em obra. Os ensaios necessários e seus procedimentos são indicados nos anexos da NBR 15961-2 (ABNT, 2011).

- Anexo A: ensaio para a determinação da resistência à compressão de prismas.
- Anexo B: ensaio para a determinação da resistência à compressão de pequenas paredes.
- Anexo C: ensaio para determinação da resistência à tração na flexão de prismas.
- Anexo D: ensaio para a determinação da resistência à compressão da argamassa.



Todos os ensaios referentes a alvenaria e seus componentes devem ser realizados antes do início da obra. Esta caracterização prévia tem como objetivo evitar que os primeiros pavimentos, que estão submetidos a maiores tensões, possuam maior incerteza quanto às propriedades dos materiais, evitando situações em que a resistência de cálculo não é atingida, exigindo a utilização de reforços.

Para as edificações em alvenaria estrutural, em que o esforço de compressão é o principal fator determinante do comportamento da estrutura, é fundamental para a avaliação da resistência à compressão, realizada por meio do ensaio padrão de prisma.

ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES

A avaliação da resistência à compressão é de extrema importância para a alvenaria estrutural. Os ensaios à compressão são utilizados para a determinação da capacidade de resistência da parede. A NBR 15961-2 (ABNT, 2011), em seu anexo A, determina as diretrizes para o ensaio padrão de prisma, utilizado para avaliação da resistência.

Um prisma é um corpo de prova constituído por dois blocos principais sobrepostos, devendo ser isento de defeitos. Para a realização do ensaio é necessário realizar o capeamento dos corpos de prova, com pasta de cimento ou argamassa de resistência superior às resistências dos blocos nas áreas líquidas. Este procedimento tem por objetivo uniformizar a superfície e proporcionar uma melhor distribuição da carga de ensaio. Em seguida, os corpos de prova são colocados na prensa e ensaiados. A Figura 3.3 ilustra um ensaio padrão de prisma antes e depois da ruptura do corpo de prova.

Figura 3.3 | Exemplo de ensaio padrão de prisma.



Fonte: adaptado de Dos Santos (2016, p. 52).

Dada a simplicidade deste ensaio, é possível se obter uma boa estimativa da resistência com equipamentos básicos, que realizem os controles das estruturas de concreto armado. Segundo Ramalho e Corrêa (2003), um conceito muito importante ainda pode ser aplicado aos resultados obtidos por este ensaio, é a “eficiência”, que

representa a relação entre a resistência do prisma (f_p) e do bloco que o compõe (f_b).

$$\eta = \frac{f_p}{f_b}$$

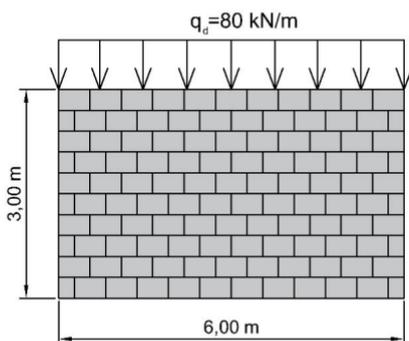
Ainda segundo o autor, os valores de eficiência para esta relação usualmente variam de 0,5 a 0,9 para os blocos de concreto, com a eficiência tendendo a valores inferiores quando o bloco apresenta maior resistência. Com o mesmo conceito também é possível avaliar a eficiência da relação entre a resistência da parede e do prisma, resultando em valores próximos de 0,7 para os blocos de concreto.

Sem medo de errar

Uma boa estimativa da capacidade resistente de um elemento de alvenaria pode ser encontrada por meio de ensaios. Os valores característicos obtidos podem ser utilizados para avaliar a resistência dos elementos estruturais, como paredes, pilares e vigas. As paredes usualmente estão submetidas aos esforços de compressão, assim, um dos ensaios mais importantes para caracterizar sua capacidade resistente é o ensaio padrão de prisma.

Lembre-se de que você deve verificar se a parede ilustrada na Figura 3.4 resiste às solicitações. Para isso, você realizou os ensaios para a caracterização prévia dos materiais, em que do ensaio padrão de prisma foi obtida uma resistência à compressão característica do prisma de 6,0 MPa.

Figura 3.4 | Esquema de carregamento da parede



Fonte: elaborada pelo autor.

Considere uma carga distribuída de cálculo de 80 kN/m e a parede engastada em todas as extremidades com largura de 6 m e altura de 3 m, executada com blocos de 14 cm de espessura.

A parede indicada resistirá ao esforço solicitante se a resistência da parede de alvenaria ($f_{alv,R}$) for maior que a tensão solicitante ($f_{alv,S}$).

$$f_{alv,R} \geq f_{alv,S}$$

Podemos iniciar a solução do problema determinando a tensão solicitante de cálculo. Sabemos que tensão representa a distribuição da força (F) pela área do elemento (A). Assim, considerando o carregamento de 80 kN/m, podemos obter a tensão de cálculo pela seguinte equação:

$$f_{alv,S} = \frac{F}{A}$$

$$A = 0,14 \cdot 6,00 \rightarrow A = 0,84 m^2$$

$$F = 80 \cdot 6,00 \rightarrow F = 480 kN$$

$$f_{alv,S} = \frac{480}{0,84} \rightarrow f_{alv,S} = 571,43 kN / m^2$$

$$f_{alv,S} \approx 0,6 MPa$$

Para encontrar o valor da resistência da parede, podemos aplicar o conceito de eficiência apresentado anteriormente, em que a relação entre a resistência da parede e do prisma resulta em valores próximos de 0,7. Assim, temos:

$$f_{alv,R} = 0,7 \cdot f_{pd}$$

Pelo ensaio padrão de prisma temos a resistência à compressão característica do prisma (f_{pk}) igual a 6,0 Mpa. Aplicando o coeficiente de ponderação das resistências, obtemos a resistência à compressão de cálculo do prisma (f_{pd}).

$$f_{pd} = \frac{f_{pk}}{\gamma}$$

$$f_{pd} = \frac{6,0}{2} \rightarrow f_{pd} = 3,0 MPa$$

Em que o coeficiente de ponderação das resistências tem valor igual a 2,0, segundo a NBR 15961-1 (ABNT, 2011). Em seguida,

estimamos a resistência da parede em:

$$f_{alv,R} = 0,7 \cdot 3,0 \rightarrow f_{alv,R} = 2,1 \text{ MPa}$$

Logo,

$$2,1 \text{ MPa} \geq 0,6 \text{ MPa}$$

Concluimos, portanto, que a parede oferece resistência suficiente para suportar o esforço solicitante.

Avançando na prática

Avaliando a esbeltez limite

Descrição da situação-problema

Um cliente entrou em contato com você após um muro de sua residência apresentar sinais de deformação excessiva. Para verificar a situação você compareceu na edificação e notou que o muro apresentava uma leve curvatura, com o surgimento de algumas fissuras. Este possuía, aproximadamente, 2,5 m de altura, executado com blocos de 14 cm de largura, sem enrijecedores e sem armação. Assim, você desconfia que a esbeltez da estrutura pode estar acima do máximo permitido pela norma, o que indicaria uma falha de projeto. Para averiguar sua hipótese inicial, calcule a esbeltez do muro; se esta estiver em desacordo com a norma, indique possíveis medidas que poderiam ter sido adotadas para evitar a situação.

Resolução da situação-problema

Uma vez que não foram empregados enrijecedores no muro analisado, temos que a espessura efetiva será igual à espessura real do muro.

$$t_{ef} = 0,14$$

Os muros normalmente são estruturas engastadas na extremidade, estão em contato com o chão e são livres no topo. Desse modo, a altura efetiva será o dobro da altura do elemento, seguindo as recomendações da NBR 15961-1 (ABNT, 2011).

$$h_{ef} = 2 \cdot 2,5 = 5,0$$

Assim, podemos calcular a esbeltez:

$$\lambda = \frac{h_{ef}}{t_{ef}}$$

$$\lambda = \frac{5,0}{0,14} = 35,71 > 24$$

Como o valor encontrado é superior ao normatizado, é possível que os problemas observados tenham ocorrido em função da esbelteza excessiva. Para reduzir a esbelteza poderiam ter sido adotados, durante a fase de projeto, enrijecedores nas paredes ou blocos mais largos com trechos armados, aumentando a rigidez do elemento.

Faça valer a pena

1. Sobre as características desejáveis da argamassa e suas propriedades mecânicas, avalie as seguintes afirmações.

I- No estado fresco a argamassa deve apresentar boa trabalhabilidade e consistência, enquanto que no estado endurecido a argamassa deve propiciar a solidarização das unidades, transferindo as tensões de maneira uniforme, devendo apresentar também capacidade para absorver pequenas deformações.

II- Uma medida muito eficiente para garantir a qualidade da estrutura é utilizar traços fortes para a confecção da argamassa de assentamento, com elevada proporção de cimento. Assim, além aumentar sua resistência, garantimos sua capacidade de absorver as pequenas deformações.

III- O aumento de resistência da argamassa é diretamente proporcional ao aumento de resistência da parede. Desta forma, se dobrarmos sua resistência à compressão seria equivalente a dobrar a resistência à compressão da alvenaria.

IV- A partir de um certo limite um aumento na espessura da junta de argamassa pode reduzir significativamente a capacidade de suporte da estrutura.

Assinale a alternativa correta.

- a) Apenas as afirmativas I, II e IV estão corretas.
- b) Apenas as afirmativas I e III estão corretas.
- c) Apenas as afirmativas II, IV e V estão corretas.
- d) Apenas as afirmativas I e IV estão corretas.
- e) Somente a afirmativa I está correta.

2. Para o correto dimensionamento das estruturas de alvenaria é importante a verificação quanto à esbelteza da peça. A NBR 15961-1 (ABNT, 2011) define

algumas propriedades geométricas para o cálculo do índice de esbeltez. Sobre os conceitos de espessura efetiva e altura efetiva, marque V para verdadeiro ou F para falso:

- () Para uma parede sem enrijecedor, a espessura efetiva será igual o dobro de espessura, não sendo considerado os revestimentos.
- () Para a parede de um pavimento tipo, travado em todas as extremidades por vigas, a altura efetiva será equivalente ao dobro de sua altura real.
- () Para um muro, engastado na base e livre no topo, a altura efetiva será equivalente a sua altura real.
- () A altura efetiva de um elemento será equivalente ao dobro de sua altura real se uma extremidade for livre e se houver travamento que restrinja o deslocamento horizontal e a rotação na outra extremidade na direção considerada.

Assinale a alternativa que apresenta a sequência correta.

- a) V – V – V – F.
- b) F – V – F – V.
- c) V – F – F – V.
- d) F – V – F – F.
- e) F – F – F – F.

3. Sobre os ensaios necessários nas peças de alvenaria e o conceito de eficiência, é correto afirmar que:

I – Os ensaios referentes a alvenaria e seus componentes, preferencialmente, devem ser realizados após a execução dos primeiros pavimentos, quando o número de corpos de prova se torna significativo.

II – Os ensaios apresentam custos muito elevados, sendo utilizados apenas em obras de grande porte. Diante disso, torna-se dispensável a caracterização dos elementos de alvenaria para obras populares.

III – A avaliação da resistência à compressão é de extrema importância para a alvenaria estrutural, sendo os ensaios à compressão uma das melhores formas para se avaliar a capacidade de resistência da parede.

IV – A partir dos valores de resistência do bloco ou do prisma é possível estimar a resistência do painel de alvenaria. Porém, os ensaios fornecem valores mais precisos de resistência, reduzindo as incertezas dos materiais, e podem acarretar em economia na obra.

Assinale a alternativa correta.

- a) Apenas as afirmativas III e IV estão corretas.
- b) Apenas as afirmativas I e III estão corretas.

- c) Apenas as afirmativas II, IV e V estão corretas.
- d) Apenas as afirmativas I e IV estão corretas.
- e) Apenas as afirmativas II e III estão corretas.

Seção 3.2

Dimensionamento de alvenaria não armada

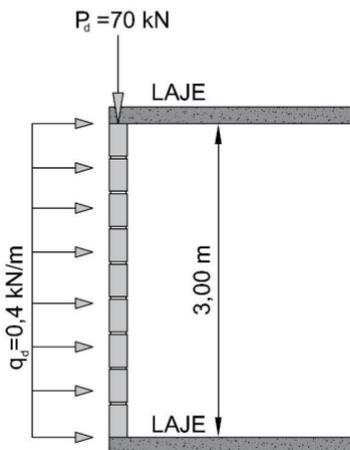
Diálogo aberto

Durante as últimas seções, tratamos sobre as considerações necessárias para a avaliação dos esforços solicitantes e os aspectos que influenciam no dimensionamento das estruturas. Prosseguindo em nosso estudo, nesta seção abordaremos os métodos de dimensionamento da alvenaria não armada, discorrendo sobre as verificações quanto aos esforços de compressão simples, flexão simples, cisalhamento e flexão composta.

Lembre-se de que você é responsável pelo projeto estrutural de um edifício. Agora, será necessário o dimensionamento das paredes de alvenaria.

Em um primeiro momento, os esforços solicitantes horizontais parecem não ser predominantes, de modo que as paredes são capazes de suportar aos esforços sem a aplicação de armadura. Deste modo, para a parede do último pavimento tipo, ilustrada na Figura 3.5, verifique a possibilidade da utilização de alvenaria não armada e, se possível, determine qual é a resistência mínima que o bloco de concreto deve possuir, verificando se a resistência definida anteriormente atende às solicitações encontradas. Considere que as lajes oferecem travamentos que restrinjam os deslocamentos horizontais e as rotações das suas extremidades. Os blocos empregados são de 14 cm de largura, assentados com argamassa de resistência média a uma compressão de 5 MPa.

Figura 3.5 | Esquema de carregamento da parede de alvenaria



Fonte: elaborada pelo autor.

Para resolver a situação proposta, será necessário conhecermos um pouco mais sobre os mecanismos de resistência da alvenaria não armada, bem como as verificações quanto aos esforços de compressão, flexão e as considerações quanto à sobreposição destes esforços, resultando na verificação da flexo-compressão.

Não pode faltar

CONCEITO DE ALVENARIA NÃO ARMADA

A principal ideia do sistema de alvenaria é que as paredes possuam função estrutural, em que as forças solicitantes são transmitidas ao apoio principalmente por meio do esforço de compressão. O conceito estrutural deste sistema tradicionalmente não empregava armaduras, sendo a estrutura dimensionada de modo a limitar os esforços de tração.

Quando a estrutura está submetida a esforços principais de compressão, como em pilares e paredes, a alvenaria não armada apresenta comportamento adequado. No entanto, algumas dificuldades surgem quando os elementos estão submetidos à esforços de tração ou flexão. A resistência à tração da alvenaria é muito pequena quando comparada a sua resistência à compressão. Segundo Parsekian, Hamid e Drysdale (2013), vigas de alvenaria

não armadas rompem na região tracionada com um carregamento consideravelmente inferior à capacidade resistente de compressão. Desta forma, muitas vezes a execução de elementos fletidos não armados se torna inviável.

Quando a tensão de tração é reduzida, é possível o dimensionamento das peças não armadas. Para isso, a NBR 15961-1 (ABNT, 2011) adota as seguintes hipóteses:

- As seções transversais permanecem planas após deformação.
- As máximas tensões de tração devem ser menores ou iguais à resistência à tração da alvenaria.
- As máximas tensões de compressão devem ser menores ou iguais à resistência à compressão da alvenaria para a situação de compressão simples. Para compressão na flexão este valor deve ser multiplicado por 1,5.
- As seções transversais submetidas à flexão e à flexo-compressão deverão ser consideradas no Estádio I.

Atualmente é comum o emprego de armaduras construtivas visando absorver pequenos esforços em decorrência de movimentação térmica das peças ou para aumentar a solidarização entre paredes. Estas armaduras, no entanto, não possuem função estrutural e não caracterizam o elemento como uma peça armada, sendo, portanto, desconsideradas no dimensionamento.

ALVENARIA NÃO ARMADA: COMPRESSÃO SIMPLES

O esforço de compressão pode ser considerado o mais importante nas estruturas de alvenaria e deve ser determinado da forma mais precisa possível. A NBR 15961-1 (ABNT, 2011) recomenda que a obtenção da resistência característica à compressão simples da alvenaria (f_k) seja por meio de ensaios ou estimada como 70% da resistência característica de compressão simples do prisma (f_{pk}).

A resistência de cálculo nas paredes e pilares pode ser obtida pela seguinte equação:

$$\text{Para paredes: } N_{rd} = f_d \cdot A \cdot R .$$

$$\text{Para pilares: } N_{rd} = 0,9 \cdot f_d \cdot A \cdot R .$$

Onde:

N_{rd} Representa a força normal resistente de cálculo.

f_d Representa a resistência à compressão de cálculo da alvenaria.

A Representa a área da seção resistente.

$R = 1 - \left(\frac{\lambda}{40} \right)^3$ Representa um coeficiente redutor por causa da

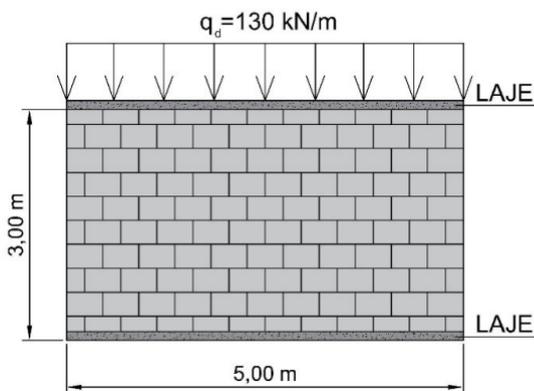
esbeltez da parede ou do pilar.



Exemplificando

Para a parede de alvenaria não armada ilustrada na Figura 3.6, determine a resistência característica mínima do bloco de concreto. Considere blocos com 14 cm de largura e lajes que ofereçam travamentos que restrinjam os deslocamentos horizontais e as rotações das suas extremidades.

Figura 3.6 | Carregamento distribuído na parede de alvenaria



Fonte: elaborada pelo autor.

Inicialmente é necessário realizar a verificação quanto à esbeltez limite. Para paredes não armadas $\lambda_{lim} = 24$.

$$\lambda = \frac{h_{ef}}{t_{ef}} = \frac{300}{14} = 21,43$$

Como a esbelteza da parede é menor que a esbelteza máxima satisfaz a verificação. Assim, prosseguimos para a determinação da resistência do bloco.

$$N_{sd} = 130.5,00 \rightarrow N_{sd} = 650kN$$

$$R = 1 - \left(\frac{\lambda}{40} \right)^3 = 1 - \left(\frac{21,43}{40} \right)^3 = 0,85$$

$$N_{rd} = f_d \cdot A \cdot R$$

Igualando os esforços solicitantes com os resistentes, temos:

$$650 = f_d \cdot (0,14 \cdot 5,0) \cdot 0,85 \rightarrow f_d = 1092,44kN / m^2$$

$$f_d \approx 1,1MPa$$

$$f_d = 0,7 \cdot \frac{f_{pk}}{\gamma} \rightarrow 1,1 = 0,7 \cdot \frac{f_{pk}}{2} \rightarrow f_{pk} = 3,14MPa$$

Considerando uma eficiência de 0,7, podemos estimar a resistência do bloco.

$$\eta = \frac{f_{pk}}{f_{bk}} \rightarrow 0,7 = \frac{3,14}{f_{bk}} \rightarrow f_{bk} = 4,49MPa$$



Pesquise mais

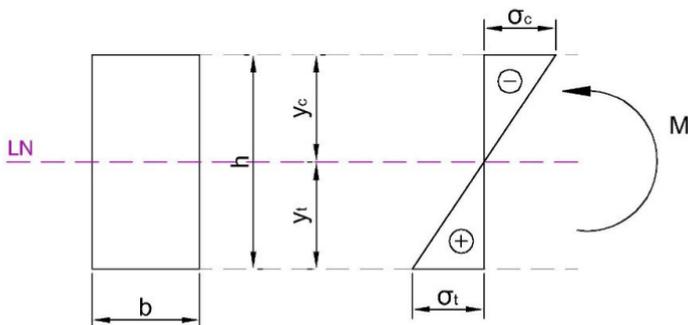
Neste exemplo foram demonstrados os procedimentos para verificação da compressão simples em paredes submetidas a uma carga distribuída. Esta situação é a mais comum, porém existem casos onde a estrutura está submetida a forças concentradas. A NBR 15961-1 (ABNT, 2011), disponível na biblioteca virtual, traz em seu item 11.2.3 algumas considerações para forças de compressão concentradas. Leia o item indicado buscando analisar sua forma de aplicação.

ALVENARIA NÃO ARMADA: FLEXÃO SIMPLES

A flexão simples geralmente ocorre em estruturas como vigas e lajes, onde o esforço predominante é a flexão, raramente existindo

esforços normais. Para o equilíbrio da seção, este esforço gera um binário de tração e compressão, como ilustrado na Figura 3.7.

Figura 3.7 | Diagrama de tensões para alvenaria não armada



Fonte: ABNT (2011, p. 27).

A tensão normal máxima ilustrado na Figura 3.7 pode ser obtida pela equação a seguir.

$$\sigma = \frac{M \cdot y}{I}$$

Onde,

M Representa o momento fletor atuante na peça.

y Representa a distância entre a linha neutra até a fibra mais solicitada.

I Representa o momento de inércia da seção bruta.



Assimile

Segundo a NBR 15961-1 (ABNT, 2011), item 11.3.1, a verificação da alvenaria à flexão simples deve obedecer aos seguintes limites: a máxima tensão de compressão de cálculo na flexão não deve ser superior a 50% da resistência à compressão de cálculo da alvenaria (f_d), ou seja, $1,5 f_d$; a máxima tensão de tração de cálculo não pode ultrapassar a resistência à tração de cálculo da alvenaria (f_{td}).

Quando a compressão ocorrer na direção paralela às juntas de assentamento, como no caso das vigas, a resistência característica na flexão (f_d) pode ser adotada:

- Igual à resistência à compressão na direção perpendicular às juntas de assentamento, se a região comprimida do elemento de alvenaria estiver totalmente grauteada.
- Igual a 50% da resistência à compressão na direção perpendicular às juntas de assentamento nos demais casos.

A consideração da resistência à tração da alvenaria submetida à flexão (f_{td}) é permitida para casos de ações variáveis, como vento, sendo os valores característicos definidos pelo Quadro 3.2. Os valores são válidos para argamassa de cimento, cal e areia, sem aditivos e adições e juntas verticais preenchidas.

Quadro 3.2 | Valores característicos da resistência à tração na flexão

Direção da tração	Resistência média à compressão da argamassa MPa		
	1,5 a 3,4 ^a	3,5 a 7,0 ^b	Acima de 7,0 ^c
Normal à fiada	0,10	0,20	0,25
Paralela à fiada	0,20	0,40	0,50

^a Classe P2 e P3, conforme ABNT NBR 13281.
^b Classe P4 e P5, conforme ABNT NBR 13281.
^c Classe P6, conforme ABNT NBR 13281.

Fonte: ABNT (2011, p. 11).



Refleta

Por que a resistência à tração na flexão da alvenaria é obtida a partir da resistência da argamassa? Por que seria incorreto considerar a resistência à tração do bloco como resistência à tração da alvenaria?

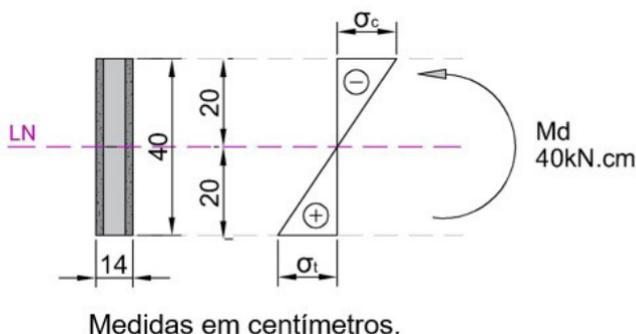


Exemplificando

Verifique a capacidade resistente no que se refere ao esforço de flexão simples para a verga em alvenaria não armada ilustrada na Figura 3.8.

Considere blocos de 14 cm de largura, assentados com argamassa de resistência média à compressão de 5 MPa.

Figura 3.8 | Tensão de flexão atuante na verga de alvenaria



Fonte: elaborada pelo autor.

Inicialmente determinamos a tensão de tração máxima atuante na peça.

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{14 \cdot 40^3}{12} = 74.666,67 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_t = \frac{M \cdot y}{I} = \frac{40 \cdot 20}{74666,67} = 0,011 \text{ kN / cm}^2$$

$$\sigma_t = 0,11 \text{ MPa}$$

A partir do valor da resistência média à compressão da argamassa, aplicamos os valores do Quadro 3.2 para obter a resistência característica à tração na flexão.

$$f_{tk} = 0,40 \text{ MPa}$$

$$f_{td} = \frac{f_{tk}}{\gamma} = \frac{0,40}{2} \rightarrow f_{td} = 0,20 \text{ MPa}$$

Uma vez que a tensão de tração é inferior à resistência de cálculo à tração e, portanto, atende à verificação $\sigma_t < f_{td}$, é possível concluir que o bloco irá resistir ao esforço solicitante.

ALVENARIA NÃO ARMADA: CISALHAMENTO

Os elementos em alvenaria não armada também devem ser verificados quanto ao esforço de cisalhamento. Para isso, podemos obter a tensão de cisalhamento de cálculo pela seguinte equação:

$$\tau_{vd} = \frac{V_d}{b.h}$$

Para que seja possível a utilização de alvenaria não armada, a tensão de cisalhamento de cálculo deve ser inferior à resistência de cálculo. Esta pode ser obtida a partir da aplicação do coeficiente de majoração das resistências no valor característico da resistência ao cisalhamento (f_{vk}).

$$\tau_{vd} \leq \frac{f_{vk}}{\gamma_m}$$

ANBR15961-1 (ABNT, 2011) determina as resistências características ao cisalhamento nas juntas horizontais das paredes (f_{vk}), conforme apresentado no Quadro 3.3.

Quadro 3.3 | Valores característicos da resistência ao cisalhamento em juntas horizontais de paredes

Resistência média de compressão da argamassa MPa		
1,5 a 3,4	3,5 a 7,0	Acima de 7,0
$0,10 + 0,5\sigma \leq 1,0$	$0,10 + 0,5\sigma \leq 1,4$	$0,10 + 0,5\sigma \leq 1,7$

Fonte: elaborada pelo autor.

Sendo σ a tensão normal de pré-compressão na junta, considerando-se apenas as ações permanentes ponderadas por coeficiente de segurança igual a 0,9 (ação favorável), a resistência característica ao cisalhamento na interface vertical de paredes com juntas amarradas pode ser adotada como 0,35 MPa.

ALVENARIA NÃO ARMADA: FLEXÃO COMPOSTA

As estruturas submetidas simultaneamente ao esforço de flexão e compressão, além de atender às verificações de compressão, devem resistir também à superposição das tensões devido ao momento fletor com as tensões, por causa da compressão, satisfazendo a seguinte condição:

$$\frac{N_d}{A.R} + \frac{M_d}{W.K} \leq f_d$$

Onde,

M_d Representa o momento fletor de cálculo.

f_d Representa a resistência à compressão de cálculo da alvenaria.

A Representa a área da seção resistente.

W Representa o mínimo módulo de resistência de flexão da seção resistente.

R Representa o coeficiente redutor por causa da esbeltez do elemento.

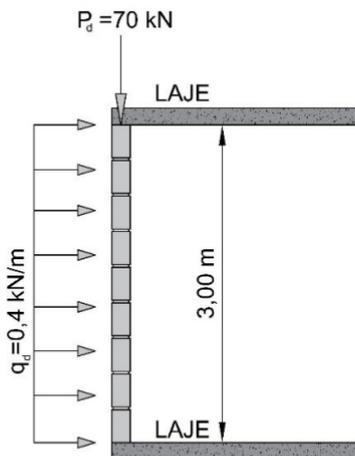
$K = 1,5$ Representa o fator que ajusta a resistência à compressão na flexão.

Caso exista tensão de tração seu valor máximo deve ser menor ou igual à resistência de tração da alvenaria f_{td} .

Sem medo de errar

Lembre-se de que para a parede de alvenaria indicada na Figura 3.5 você deve verificar se é possível a utilização de alvenaria não armada e, se for possível, determinar qual é a resistência mínima que o bloco de concreto deve possuir. Considere que as lajes oferecem travamentos que restrinjam os deslocamentos horizontais e rotações das suas extremidades. Os blocos são de 14 cm de largura, assentados com argamassa de resistência média à compressão de 5 MPa.

Figura 3.5 | Esquema de carregamento da parede de alvenaria



Fonte: elaborada pelo autor.

Primeiro devemos verificar a existência de tração. Para isso, calculamos as tensões máximas na base da parede por metro linear. A tensão por causa da carga concentrada pode ser obtida por:

$$\sigma_d = \frac{N_d}{b \cdot h} \rightarrow \sigma_d = \frac{70}{0,14 \cdot 1,0} \rightarrow \sigma_d = 500 \text{ kN} / \text{m}^2$$

Para o cálculo da tensão foram utilizados os valores por metro, sendo a tensão e a área medidas lineares, portanto, a altura da seção foi considerada 1,00 m. A tensão gerada pelo esforço de flexão por metro linear é calculada por:

$$\sigma_d = \frac{M_d \cdot y}{I}$$

Para seção retangular, temos:

$$y = \frac{h}{2}; I = \frac{bh^3}{12}$$

Substituindo na equação:

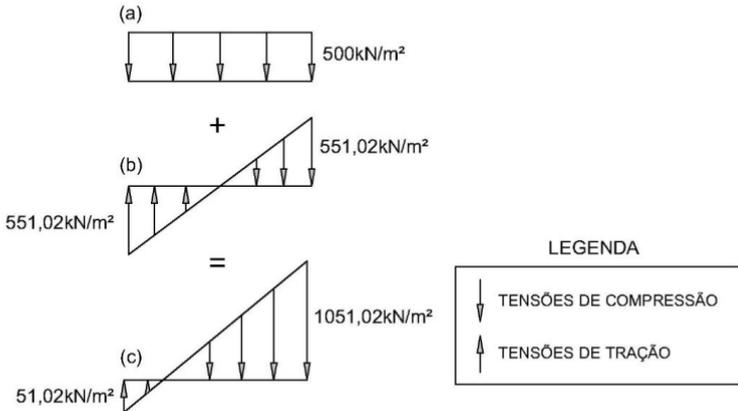
$$\sigma_d = \frac{M_d \cdot y}{I} \rightarrow \sigma_d = \frac{M_d \cdot \left(\frac{h}{2}\right)}{\left(\frac{bh^3}{12}\right)} \rightarrow \sigma_d = \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h^2}$$

$$M_d = q_d \cdot H \cdot \left(\frac{H}{2}\right) \rightarrow M_d = 0,4 \cdot 3 \cdot \left(\frac{3}{2}\right) \rightarrow M_d = 1,80 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\sigma_d = \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h^2} \rightarrow \sigma_d = \frac{6 \cdot 1,80}{1,0 \cdot 0,14^2} \rightarrow \sigma_d = 551,02 \text{ kN} / \text{m}^2$$

A Figura 3.9 ilustra a sobreposição dos esforços de flexo-compressão, em (a) é representada a tensão por causa da carga concentrada, (b) representa as tensões geradas pelo esforço de flexão e, no caso (c), a sobreposição dos esforços resulta em uma tensão de tração de 51,02 kN/m².

Figura 3.9 | Sobreposição dos esforços de flexo-compressão



Fonte: elaborada pelo autor.

A partir do valor da resistência média à compressão da argamassa, aplicamos os valores do Quadro 3.2 para obter a resistência característica à tração na flexão. $f_{tk} = 0,25MPa$

$$f_{td} = \frac{f_{tk}}{\gamma} = \frac{0,25}{2} \rightarrow f_{td} = 0,125MPa, \text{ logo,}$$

$$\sigma_t < f_{td} \rightarrow 0,05MPa < 0,125MPa$$

A tensão de tração é resistida pela alvenaria sem a necessidade de armadura. A seguir, para verificar a flexo-compressão, é necessário calcularmos o coeficiente redutor de esbeltez (R), o módulo de resistência da seção (W) e a resistência à compressão de cálculo da alvenaria (f_d).

$$\lambda = \frac{h_{ef}}{t_{ef}} = \frac{300}{14} = 21,43$$

$$R = 1 - \left(\frac{\lambda}{40}\right)^3 = 1 - \left(\frac{21,43}{40}\right)^3 = 0,85$$

$$W = \frac{I}{y} \rightarrow W = \frac{\left(\frac{b \cdot h^3}{12}\right)}{\left(\frac{h}{2}\right)} \rightarrow W = \frac{b \cdot h^2}{6} \rightarrow W = \frac{10,0 \cdot 14^2}{6} \rightarrow W = 3,27 \cdot 10^{-3}$$

$$f_d = 0,7 \cdot \frac{f_{pk}}{\gamma} \rightarrow f_d = 0,7 \cdot \frac{(\eta \cdot f_{bk})}{\gamma} \rightarrow f_d = 0,7 \cdot \frac{(0,7 \cdot f_{bk})}{2} \rightarrow f_d = 0,245 \cdot f_{bk}$$

$$\frac{N_d}{A.R} + \frac{M_d}{W.K} \leq f_d \rightarrow \frac{70}{(0,14 \cdot 1,0) \cdot 0,85} + \frac{2,25}{(3,27 \cdot 10^{-3}) \cdot 1,5} \leq 0,245 \cdot f_{bk}$$

$$4.273,26 \text{ kN} / \text{m}^2 \leq f_{bk} \rightarrow 4,27 \text{ MPa} \leq f_{bk}$$

Ou seja, neste caso, a resistência mínima do bloco para resistir aos esforços solicitantes pode ser estimada em 4,27 Mpa.

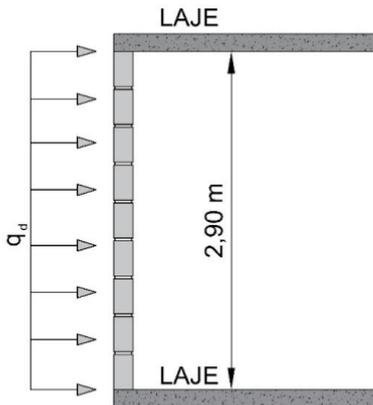
Avançando na prática

Verificando tensão de cisalhamento máxima

Descrição da situação-problema

Você está projetando uma residência em alvenaria estrutural. Com o intuito de determinar a estrutura mais econômica possível, você procura uma concepção estrutural que não exija a inclusão de armaduras. Assim, para a parede representada na Figura 3.10, determine qual a máxima força horizontal que a parede de alvenaria suporta antes que seja necessária a inclusão de armadura de cisalhamento. Considere que, após uma análise inicial, a tensão normal na junta para cargas permanentes encontrada foi de 1,2 MPa e foi definido uma resistência média de compressão da argamassa de 8,0 MPa.

Figura 3.10 | Força horizontal atuante na parede de alvenaria



Fonte: elaborada pelo autor.

Resolução da situação-problema

Inicialmente, calculamos a tensão de cisalhamento atuante na seção.

$$\tau_{vd} = \frac{V_d}{b \cdot h} \rightarrow \tau_{vd} = \frac{q_d \cdot 2,90}{0,14 \cdot 1,0} \rightarrow \tau_{vd} = 20,71 \cdot q_d$$

Para encontrar a máxima força horizontal, podemos igualar a tensão solitante com a resistente.

$$20,71 \cdot q_d \leq \frac{f_{vk}}{\gamma_m}$$

Pelo Quadro 3.3, temos que o valor característico da resistência ao cisalhamento é definido por:

$$0,10 + 0,5\sigma \leq 1,7 \rightarrow 0,10 + 0,5 \cdot (0,9 \cdot 1,2) \leq 1,7$$

$$f_{vk} = 0,64 \text{ MPa} \rightarrow f_{vk} = 640 \text{ kN} / \text{m}^2$$

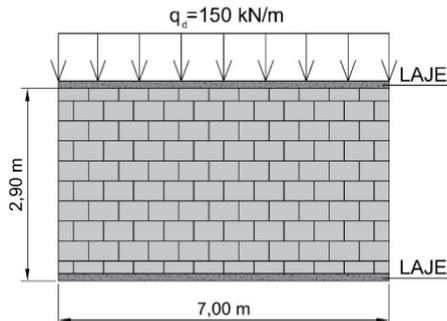
Substituindo na equação:

$$20,71 \cdot q_d \leq \frac{640}{2} \rightarrow q_d \leq 15,45 \text{ kN} / \text{m}^2$$

Faça valer a pena

1. Para a parede de alvenaria não armada ilustrada na figura a seguir, determine a resistência característica do prisma. Considere blocos com 14 cm de largura e que as lajes oferecem travamentos que restrinjam os deslocamentos horizontais e rotações das suas extremidades.

Figura | Carregamento distribuído na parede de alvenaria



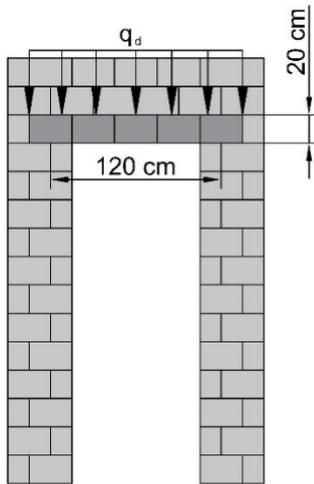
Fonte: elaborada pelo autor.

Assinale a alternativa correta.

- a) 4,86 MPa.
- b) 4.983,37 MPa.
- c) 1,74 MPa.
- d) 4,49 MPa.
- e) 17,88 MPa.

2. Para a viga em alvenaria ilustrada na Figura 3.12, determine qual o valor máximo da carga distribuída “q” considerando o uso da alvenaria não armada. A parede é constituída de blocos de 14 cm de largura, assentados com argamassa de resistência média a compressão de 5 MPa.

Figura 3.12: Tensão de flexão atuante na viga de alvenaria.



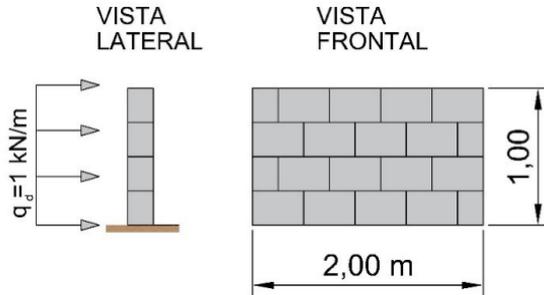
Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Assinale a alternativa correta.

- a) $q < 193,00kN / m$.
- b) $q < 9,3kN / m$.
- c) $q < 1,04kN / m$.
- d) $q < 0,85kN / m$.
- e) $q < 2,01kN / m$.

3. Para a estrutura representada na figura a seguir, determine a menor resistência ao cisalhamento nas juntas, necessária para o uso de alvenaria não armada. Considere que a tensão normal na junta para cargas permanentes encontrada foi de 1,6 MPa e a resistência média de compressão da argamassa de 8,0 MPa.

Figura | Carregamento horizontal distribuído na parede de alvenaria



Fonte: elaborada pelo autor.

- $f_{vk} \geq 3,57 \text{ kN} / \text{m}^2$.
- $f_{vk} \geq 7,14 \text{ kN} / \text{m}^2$.
- $f_{vk} \geq 5,00 \text{ kN} / \text{m}^2$.
- $f_{vk} \geq 1,79 \text{ kN} / \text{m}^2$.
- $f_{vk} \geq 4,34 \text{ kN} / \text{m}^2$.

Seção 3.3

Dimensionamento de alvenaria parcialmente armada

Diálogo aberto

Durante a última seção, tratamos dos métodos de dimensionamento para alvenaria não armada. Prosseguindo em nosso estudo, nesta seção abordaremos os métodos de dimensionamento da alvenaria armada, discorrendo sobre as verificações quanto aos esforços de compressão simples, flexão simples, cisalhamento e flexão composta.

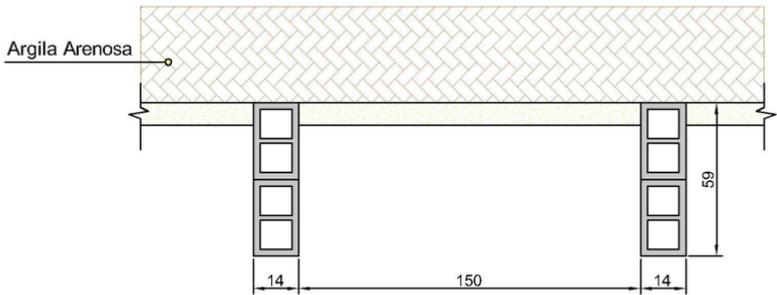
Lembre-se de que você é responsável pelo projeto estrutural de um edifício. O terreno onde ele será construído tem relevo levemente acidentado, sendo essencial a realização de terraplanagem para seu nivelamento. O nível da edificação determinado no projeto arquitetônico produz uma região de corte, causando um desnível de até 1,8 metros com os terrenos vizinhos.

Desta forma, é projetado um muro com o objetivo de fazer a contenção deste material. Para isso são realizados exames nos solos, determinando as características do material. Por meio destes ensaios foi determinado que este solo é constituído de argila arenosa, apresentando um peso específico de $18 \text{ kN} / \text{m}^3$ e um ângulo de atrito interno de 25° . A partir destes dados, você sabe que é possível calcular a força de empuxo aplicada no muro.

Tratando-se de um muro de arrimo, os esforços horizontais são altos, inviabilizando a construção com parede em alvenaria não armada. Como solução inicial você propôs a estrutura ilustrada na Figura 3.11, com pilares de seção $14 \times 59 \text{ cm}$, espaçados a cada 1,5 m.

Determine a armadura para resistir aos esforços de flexo-compressão. Considere a resistência à compressão característica do prisma de $7,15 \text{ MPa}$ e a existência de uma carga concentrada no topo de cada pilar com valor de 115 kN .

Figura 3.11 | Representação do muro de arrimo em alvenaria estrutural



Fonte: elaborada pelo autor.

Para resolver a situação proposta será necessário conhecermos um pouco mais sobre as verificações de dimensionamento da alvenaria parcialmente armada, submetida aos esforços de compressão, flexão e flexo-compressão e às recomendações normativas sobre taxas de armadura mínima e máximas.

Não pode faltar

CONCEITO DE ALVENARIA PARCIALMENTE ARMADA

Na alvenaria parcialmente armada busca-se maior resistência e ductilidade da seção com o emprego de armaduras. Assim como no concreto armado, nas estruturas em alvenaria são utilizadas as barras de aço CA-50. Estas têm por objetivo promover maior resistência quanto às tensões de tração e cisalhamento e evitar o surgimento de fissuras na peça.

Para o dimensionamento das peças em alvenaria parcialmente armada a NBR 15961-1 (ABNT, 2011) adota as seguintes considerações:

- As seções transversais submetidas à flexão e flexo-compressão serão consideradas no Estádio III.
- As seções transversais se mantêm planas após deformação.
- As armaduras aderentes têm a mesma deformação que a alvenaria em seu entorno.
- A resistência à tração da alvenaria é nula.
- As máximas tensões de compressão solicitantes devem ser menores que a resistência à compressão da alvenaria.

- A distribuição de tensões de compressão nos elementos de alvenaria submetidos à flexão pode ser representada por um diagrama retangular aproximado.
- Para flexão ou flexo-compressão o máximo encurtamento da alvenaria se limita a 0,35%.
- O máximo alongamento do aço se limita em 1%.
- A tensão de escoamento de cálculo da armadura deve ser limitada em 50%.



Refleta

Na seção anterior vimos que para o cálculo de elementos em alvenaria não armada submetidos à flexão simples a NBR 15961-1 (ABNT, 2011) indica que a verificação considere a resistência à tração da alvenaria. Deste modo, quando empregamos armadura, por que a norma recomenda desconsiderar a parcela de resistência à tração da alvenaria?

LIMITES NORMATIVOS RELATIVOS ÀS ARMADURAS

Para o dimensionamento do sistema de alvenaria parcialmente armada é necessário abordar as taxas mínimas e máximas de armaduras exigidas pela NBR 15961-1 (ABNT, 2011), que traz em seu item 12 os valores limites indicados no Quadro 3.4.

Quadro 3.4 | Valores limites de taxa de armadura para alvenaria parcialmente armada

TAXA MÍNIMA DE ARMADURA REFERENTE À ÁREA DA SEÇÃO TRANSVERSAL	
SITUAÇÃO	TAXA
Armadura principal de vigas e paredes	0,10%
Armadura secundária de paredes	0,05%
Armadura longitudinal em paredes de contraventamento	0,10%
Armadura em juntas de assentamento	0,03%
Armadura longitudinal em pilares	0,30%
Armadura transversal em vigas	0,05%

OUTROS LIMITES NORMATIVOS

A taxa máxima de armadura permitida em um mesmo espaço grauteado não pode ser superior a 8% da área da seção transversal, considerando a área de transpasse.

O diâmetro máximo da armadura não deve ser superior a 6,3 mm para barras localizadas em juntas de assentamento e 25 mm para demais casos.

Fonte: elaborada pelo autor.

ALVENARIA PARCIALMENTE ARMADA: COMPRESSÃO SIMPLES

Por causa da grande capacidade de deformação do aço, faz-se necessário limitar a tensão de escoamento para evitar o surgimento de fissuras na alvenaria. Assim, a NBR 15961-1 (ABNT, 2011) define que a tensão normal na armadura longitudinal deve ser:

$$f_s = 0,5.f_{yd} \rightarrow f_s = \frac{0,5.f_{yk}}{\gamma_s}$$

Ou seja, a tensão normal na armadura é limitada a 50% da resistência ao escoamento de cálculo.



Assimile

Esta consideração, apesar de necessária, faz que o aço aplicado em elementos submetidos à compressão apresente um comportamento pouco eficiente, visto que a alvenaria já apresenta elevada resistência à compressão. Por este motivo, Ramalho (2003) considera que a utilização de armaduras em peças comprimidas não é interessante do ponto de vista custo-benefício, uma vez que ao se aplicar a armadura o ganho de resistência à compressão é muito pequeno. É recomendável sua aplicação nos casos em que houver necessidade de conferir maior ductilidade à estrutura, aumentar o limite de esbeltez da parede ou quando necessitar de acréscimos muito localizados de resistência.

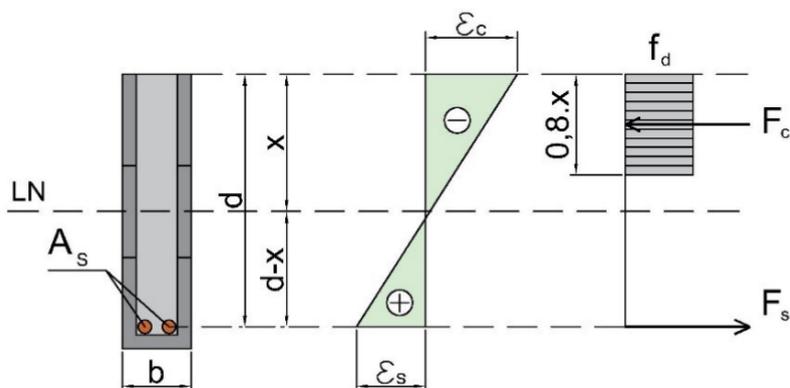
Para verificação de resistência à compressão, o processo de cálculo é o mesmo da alvenaria não armada, comentada na seção anterior, uma vez que a NBR 15961-1 (ABNT, 2011) desconsidera a contribuição de eventuais armaduras existentes.

ALVENARIA PARCIALMENTE ARMADA: FLEXÃO SIMPLES

No dimensionamento ao esforço de flexão simples, quando utilizadas estruturas parcialmente armadas, a resistência à tração da alvenaria é ignorada, sendo considerada somente a resistência da armadura.

O dimensionamento é realizado no estágio III, onde a região comprimida corresponde a uma distribuição uniforme de tensões com altura de $0,8x$. Assim, segundo a NBR 15961-1 (ABNT, 2011), o cálculo do momento fletor resistente pode ser obtido pelo diagrama simplificado ilustrado na Figura 3.12.

Figura 3.12 | Diagrama de deformações, alvenaria armada



Fonte: adaptado de ABNT (2011, p. 27).

Onde,

d Altura útil da seção.

x Altura da linha neutra.

A_s Área da armadura tracionada.

ϵ_s Deformação na armadura tracionada.

ϵ_c Deformação máxima na alvenaria comprimida.

f_d Máxima tensão de compressão.

f_s Tensão de tração na armadura.

F_c Resultante de compressão na alvenaria.

F_s Resultante de forças na armadura tracionada.

Para a alvenaria parcialmente armada, o momento fletor resistente deve ser inferior a:

$$M_{Rd} \leq 0,4.f_d.b.d^2$$

Onde o momento fletor resistente de cálculo para seção retangular e armadura simples pode ser obtido por:

$$M_{Rd} = A_s.f_s.z$$

Sendo,

A_s Representa a área da armadura tracionada m^2 .

f_s Representa a tensão de tração na armadura.

z Representa o comprimento do braço de alavanca, que pode ser obtido por:

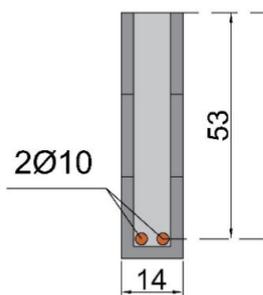
$$z = d \cdot \left(1 - 0,5 \cdot \frac{A_s.f_s}{b.d.f_d} \right) \leq 0,95.d$$



Exemplificando

Para a viga ilustrada na Figura 3.13 calcule o momento resistente de cálculo máximo. Considere aço CA50 e a resistência à compressão característica do prisma de 6,0 MPa.

Figura 3.13 | Representação da seção de uma viga de alvenaria



Fonte: elaborada pelo autor.

Limitando a máxima tensão normal na armadura em 50%, temos:

$$f_s = \frac{0,5 \cdot f_{yk}}{\gamma_s} \rightarrow f_s = \frac{0,5 \cdot 500}{1,15} = 217,39 \text{ MPa}$$

A área de aço para dois ferros de 10mm é:

$$A_s(2\phi 10\text{mm}) = 2 \cdot 0,8 = 1,6 \text{ cm}^2$$

A resistência à compressão de cálculo da alvenaria é estimada em:

$$f_d = 0,7 \cdot \frac{f_{pk}}{\gamma} \rightarrow f_d = 0,7 \cdot \frac{6}{2} \rightarrow f_d = 2,10 \text{ MPa}$$

Com os valores calculados é possível determinar o braço de alavanca

$$z = d \cdot \left(1 - 0,5 \cdot \frac{A_s \cdot f_s}{b \cdot d \cdot f_d} \right) \leq 0,95 \cdot d$$

$$z = 53 \cdot \left(1 - 0,5 \cdot \frac{1,6 \cdot 217,39}{14 \cdot 53 \cdot 2,1} \right) \leq 0,95 \cdot 53$$

$$z = 47,08 \text{ cm} \leq 50,35 \text{ cm}$$

O momento resistente de cálculo é obtido por:

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_s \cdot z \rightarrow M_{Rd} = 1,6 \cdot 217,39 \cdot 47 \rightarrow M_{Rd} = 16,35 \text{ kN.m}$$



Pesquise mais

No exemplo do item anterior foram demonstrados os procedimentos para a determinação do momento resistente considerando seções retangulares. No entanto, existem diversas situações em que é vantajoso considerar a contribuição de resistência por causa da existência de flanges.

A NBR 15961-1 (ABNT, 2011), disponível na biblioteca virtual, traz em seu item 11.3.4 o dimensionamento para seções com flanges. Leia o item sugerido e procure aplicar o procedimento indicado no exercício anterior, comparando os valores obtidos. Considere 10 cm de espessura do flange e 20 cm de largura do flange.

ALVENARIA PARCIALMENTE ARMADA: CISALHAMENTO

Conforme vimos na seção anterior, a alvenaria apresenta a capacidade de resistir aos esforços de cisalhamento, devendo satisfazer a seguinte condição:

$$\tau_{vd} \leq \frac{f_{vk}}{\gamma_m}$$

No entanto, em alguns casos a resistência da alvenaria não é suficiente para combater aos esforços solicitantes, necessitando, assim, da aplicação de armaduras. Neste caso, podemos determinar a armadura de cisalhamento descontando a parcela absorvida pela alvenaria (V_a).

$$V_a = f_{vd} \cdot b \cdot d$$

Assim, a armadura de cisalhamento paralela à direção de atuação da força cortante é calculada por:

$$A_{sw} = \frac{(V_d - V_a) \cdot s}{0,5 \cdot f_{yd} \cdot d}$$

Onde,

s Representa o espaçamento da armadura de cisalhamento.

V_d Representa a força cortante de cálculo.

A NBR 15961-1 (ABNT, 2011) determina que o espaçamento da armadura de cisalhamento deve ser inferior a 50% da altura útil, sendo que no caso de vigas esse limite ainda deve ser inferior a 30 cm, e no caso de paredes armadas ao cisalhamento esse limite deve ser inferior a 60 cm.

ALVENARIA PARCIALMENTE ARMADA: FLEXÃO COMPOSTA

Para alvenaria parcialmente armada a verificação da flexão composta deve considerar a esbeltez da peça. Deste modo, a NBR 15961-1 (ABNT, 2011) classifica os elementos estruturais em dois tipos:

- Elementos curtos: elemento que possui esbeltez menor ou igual a 12.
- Elementos esbeltos: elemento que possui esbeltez superior a 12.

Para os elementos curtos, que necessitarem de armadura, pode ser realizada a seguinte verificação:

$$N_{Rd} = f_d \cdot b \cdot (h - 2 \cdot e_x)$$

Onde,

b Representa o espaçamento da armadura de cisalhamento.

e_x Representa a excentricidade resultante no plano de flexão, sendo:

$$e_x = \frac{M}{N}, \text{ e deve ser inferior à metade da altura da seção}$$

$$e_x \leq \frac{h}{2}$$

f_d Representa a resistência de cálculo à compressão.

h Representa a altura da seção no plano de flexão.

Caso seja satisfeita, pode ser empregada apenas armadura mínima. Caso contrário, a resistência da seção pode ser calculada pelas seguintes equações:

$$N_{Rd} = f_d \cdot b \cdot y + f_{s1} \cdot A_{s1} - f_{s2} \cdot A_{s2}$$

$$M_{Rd} = 0,5 \cdot f_d \cdot b \cdot y \cdot (h - y) + f_{s1} \cdot A_{s1} \cdot (0,5 \cdot h - d_1) + f_{s2} \cdot A_{s2} \cdot (0,5 \cdot h - d_2)$$

Onde,

A_{s1} Representa a área de armadura comprimida na face de maior compressão.

A_{s2} Representa a área de armadura na outra face.

b Representa a largura da seção.

d₁ Representa a distância do centroide da armadura **A_{s1}** à borda mais comprimida.

d₂ Representa a distância do centroide da armadura **A_{s2}** à borda mais comprimida.

y Representa a profundidade da região de compressão uniforme ($y = 0,8x$).

f_d Representa a resistência de cálculo à compressão.

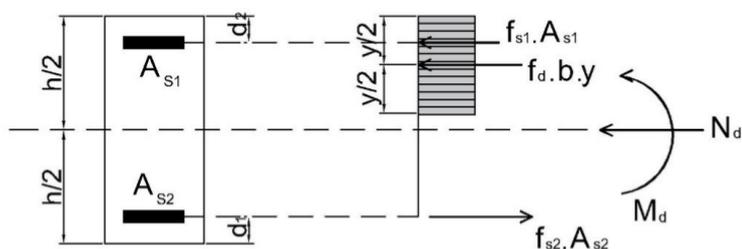
f_{s1} Representa a tensão na armadura na face mais comprimida = $0,5.f_{yd}$.

f_{s2} Representa a tensão na armadura na outra face, podendo ser $\pm 0,5.f_{yd}$, se estiver tracionada ou comprimida, respectivamente.

h Representa a altura da seção no plano de flexão.

A profundidade da região de compressão indicada na Figura 3.14, deve ser tal que os esforços resistentes de cálculo superem os solicitantes.

Figura 3.14 | Representação de uma seção submetida a flexo-compressão



Fonte: adaptada de ABNT (2011, p. 32).

Para os elementos esbeltos, o dimensionamento deve considerar também os efeitos de segunda ordem, sendo adicionado nas equações anteriores à parcela referente a este.

$$M_{2d} = \frac{N_d \cdot (h_e)^2}{2000 \cdot t}$$

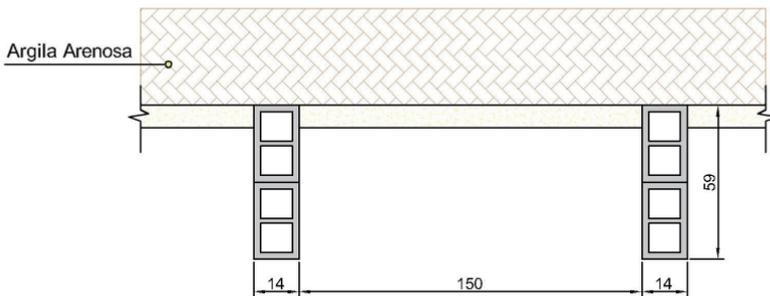
Sem medo de erro

Esforços de flexo-compressão são muito comuns em estruturas de alvenarias. A combinação do peso próprio com as ações de vento, empuxo ou desaprumo ocasionam um acréscimo das tensões na seção que muitas vezes não são suportadas somente pela alvenaria, sendo necessário o emprego de armadura.

Lembre-se de que você deve determinar a armadura necessária nos pilares do muro de arrimo ilustrado na Figura 3.15, para que

este resista aos esforços de flexo-compressão. Considere que os pilares possuem 1,8 m de altura e estão espaçados a cada 1,5 m. Os pilares possuem geometria 14 x 59 cm e apresentam resistência à compressão característica do prisma de 7,15 MPa. Existe uma carga concentrada no topo de cada pilar com valor de 115 kN. O solo é constituído de argila arenosa, apresentando um peso específico de $18 \text{ kN} / \text{m}^3$ e um ângulo de atrito interno de 25° .

Figura 3.15 | Representação do muro de arrimo em alvenaria estrutural



Fonte: elaborada pelo autor.

Para iniciarmos a verificação quanto à flexo-compressão, primeiro devemos determinar os esforços solicitantes. Para isso podemos utilizar a equação de Coulomb para calcular a força de empuxo atuante em cada pilar.

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \rightarrow K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{25}{2} \right) \rightarrow K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{25}{2} \right) \rightarrow K_a = 0,41$$

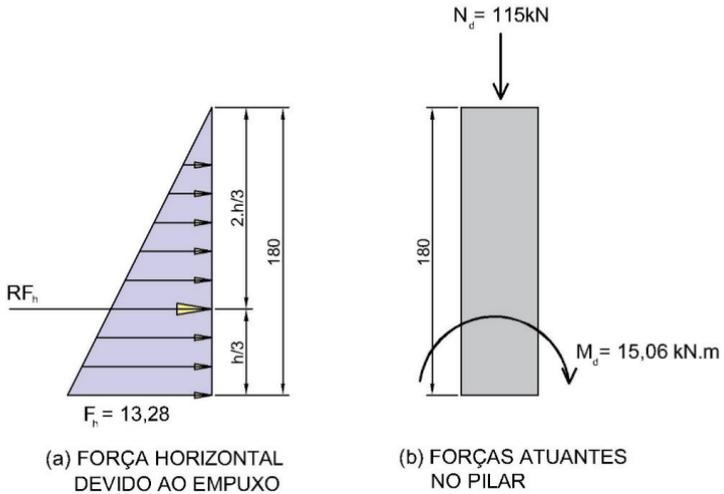
$$F_h = K_a \cdot \gamma \cdot H \rightarrow F_h = 0,41 \cdot 18 \cdot 1,8 \rightarrow F_h = 13,28 \text{ kN} / \text{m}^2$$

A força de empuxo possui um diagrama de tensões triangular, conforme representado pela Figura 3.16(a). Podemos determinar o momento solicitante por meio do produto resultante da força de empuxo por sua altura, considerando ainda a área de influência de cada pilar.

$$M_k = \left(\frac{F_h \cdot H}{2} \cdot \frac{H}{3} \right) \cdot L \rightarrow M_k = \left(\frac{13,28 \cdot 1,8}{2} \cdot \frac{1,8}{3} \right) \cdot 1,5 \rightarrow M_k = 10,76 \text{ kN.m}$$

$$M_d = M_k \cdot \gamma \rightarrow M_d = 10,76 \cdot 1,4 \rightarrow M_d = 15,06 \text{ kN.m}$$

Figura 3.16 | Forças atuantes no pilar do muro de arrimo



Fonte: elaborada pelo autor.

A partir das forças de cálculo atuantes no pilar, ilustradas na Figura 3.16(b), podemos determinar a excentricidade resultante no plano de flexão

$$e_x = \frac{M_d}{N_d} \rightarrow e_x = \frac{15,06}{115} \rightarrow e_x = 0,13 \text{ m}$$

Como $e_x \leq \frac{h}{2}$, podemos realizar a verificação para aplicação da

armadura mínima, em que a força normal resistente de cálculo é:

$$N_{Rd} = f_d \cdot b \cdot (h - 2 \cdot e_x)$$

$$f_d = 0,7 \cdot \frac{f_{pk}}{\gamma} \rightarrow f_d = 0,7 \cdot \frac{7,15}{2} \rightarrow f_d = 2,50 \text{ MPa}$$

$$N_{Rd} = f_d \cdot b \cdot (h - 2 \cdot e_x) \rightarrow N_{Rd} = 0,25 \cdot 14 \cdot (59 - 2 \cdot 13) \rightarrow N_{Rd} = 115,5 \text{ kN}$$

Como a força normal resistente de cálculo é superior à solicitante, podemos utilizar a armadura mínima $A_s = A_{s,\min}$. Assim, aplicamos os valores do Quadro 3.4, em que temos que a armadura longitudinal em pilares é 0,30%, deste modo:

$$A_s = \frac{0,30}{100} \cdot 14.59 = 2,48 \rightarrow 2\phi 12,5 \text{ mm}$$

Avançando na prática

Dimensionando a armadura de cisalhamento para uma viga de alvenaria parcialmente armada

Descrição da situação-problema

Você está realizando o dimensionamento de um edifício em alvenaria estrutural. O edifício apresenta vigas de 14 x 59 cm, com vãos relativamente baixos, no entanto, durante a verificação da flexão simples foi necessária a inclusão de armaduras para absorver os esforços. A fim de prosseguir no dimensionamento será necessário determinar a armadura de cisalhamento. Pelo diagrama dos esforços solicitantes você obteve um esforço cortante máximo de 220,00 kN. Determine a armadura necessária para que a viga resista ao esforço solicitante.

Considere que a tensão normal de pré-compressão na junta é de 0,8 MPa, e a distância entre a armadura de cisalhamento até a face externa da viga é de 4 cm.

Resolução da situação-problema

A armadura de cisalhamento pode ser determinada pelo esforço cisalhante que atua na seção, descontando a parcela deste esforço que é absorvido pela alvenaria. Assim, iniciamos a solução desta situação determinando a capacidade resistente da alvenaria.

Como a resistência média de compressão da argamassa é superior a 7 MPa, pelo Quadro 3.3 (que consta na Seção 2), temos que:

$$f_{vk} = 0,10 + 0,5\sigma \rightarrow f_{vk} = 0,10 + 0,5 \cdot 0,8 \rightarrow f_{vk} = 0,50 \text{ MPa}$$

$$f_{vd} = \frac{f_{vk}}{\gamma_m} \rightarrow f_{vd} = \frac{0,50}{2} \rightarrow f_{vd} = 0,25 \text{ MPa} \quad \text{ou}$$

$$f_{vd} = 0,025 \text{ kN / cm}^2$$

$$V_a = f_{vd} \cdot b \cdot d \rightarrow V_a = 0,025 \cdot 14 \cdot 55 \rightarrow V_a = 19,25 \text{ kN}$$

A partir do valor da resistência ao cisalhamento da alvenaria, é calculada a armadura de cisalhamento. Para isso, podemos considerar um espaçamento entre os estribos de 15 cm. Assim, temos:

$$A_{sw} = \frac{(V_d - V_a) \cdot s}{0,5 \cdot f_{yd} \cdot d} \rightarrow A_{sw} = \frac{(220,00 - 19,25) \cdot 15}{0,5 \cdot \frac{50}{1,15} \cdot 55} \rightarrow A_{sw} = 2,52 \text{ cm}^2$$

A armação será realizada com estribos de 2 ramos $\phi 5 \text{ c} / 15 \text{ cm}$, resultando em uma área de aço de $A_{sw} = 2,67 \text{ cm}^2$.

Faça valer a pena

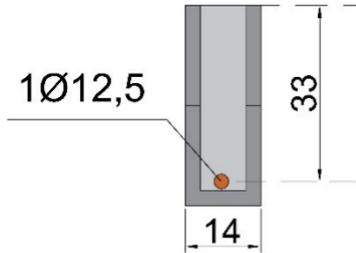
- 1.** Sobre as considerações quanto ao dimensionamento de estruturas em alvenaria parcialmente armada, é correto afirmar que:
 - I. Em elementos submetidos a esforços de compressão, o emprego de armaduras visando ganho de resistência à compressão pode ser considerado uma medida pouco eficiente.
 - II. Para os elementos de alvenaria parcialmente armada submetidos aos esforços de flexão, o dimensionamento deve considerar os esforços de tração absorvidos pela armadura e os esforços de tração absorvidos pela alvenaria.
 - III. Em elementos submetidos à flexão simples não é necessário limitar a tensão de escoamento de cálculo da armadura em 50%, uma vez que a tração é um efeito retificante e não causa a flambagem da armadura.
 - IV. No dimensionamento de elementos submetidos aos esforços de compressão, a existência de eventuais armaduras deve ser desconsiderada.
 - V. Em elementos curtos submetidos à flexo-compressão, o dimensionamento deve considerar também os efeitos de segunda ordem.

Assinale a alternativa que contém todas as afirmações corretas.

- a) As afirmativas I, II e IV estão corretas.
- b) As afirmativas I e III estão corretas.
- c) As afirmativas I, IV e V estão corretas.
- d) As afirmativas I e IV estão corretas.
- e) Somente a afirmativa I está correta.

2. Para a viga ilustrada na figura a seguir, calcule o momento resistente de cálculo máximo. Considere aço CA50 e resistência à compressão característica do prisma de 8,0 Mpa.

Figura | Representação da seção de uma viga de alvenaria



Fonte: elaborada pelo autor.

Assinale a alternativa correta.

- a) $M_{Rd} = 80,24 \text{ kN.m}$.
- b) $M_{Rd} = 8,15 \text{ kN.m}$.
- c) $M_{Rd} = 16,35 \text{ kN.m}$.
- d) $M_{Rd} = 48,35 \text{ kN.m}$.
- e) $M_{Rd} = 10,24 \text{ kN.m}$.

3. Para uma viga em alvenaria parcialmente armada com dimensões de 14 x 39 cm, submetida a um esforço cortante de 250 kN, determine a armadura de cisalhamento necessária. Considere que a tensão normal de pré-compressão na junta é de 0,5 MPa, a distância entre a armadura de cisalhamento até a face externa da viga é de 4 cm e os estribos estão espaçados a cada 10 cm.

Quadro | Valores característicos da resistência ao cisalhamento em juntas horizontais de paredes

Resistência média de compressão da argamassa MPa		
1,5 a 3,4	3,5 a 7,0	Acima de 7,0
$0,10 + 0,5\sigma \leq 1,0$	$0,10 + 0,5\sigma \leq 1,4$	$0,10 + 0,5\sigma \leq 1,7$

Fonte: elaborada pelo autor.

Assinale a alternativa correta.

a) $A_{sw} = 3,03 \text{ cm}^2$.

b) $A_{sw} = 2,02 \text{ cm}^2$.

c) $A_{sw} = 2,74 \text{ cm}^2$.

d) $A_{sw} = 9,14 \text{ cm}^2$.

e) $A_{sw} = 3,23 \text{ cm}^2$.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6136**: blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 15961-1**: alvenaria estrutural – blocos de concreto. Parte 1: projetos. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 15961-2**: alvenaria estrutural – blocos de concreto. Parte 2: execução e controle de obras. Rio de Janeiro, 2011.

DOS SANTOS, M. O. **Avaliação da resistência à compressão de prismas de bloco cerâmicos e de concreto**. 2016. 61f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2016.

FRASSON Jr., A. **Proposta de metodologia de dosagem e controle do processo produtivo de blocos de concreto para alvenaria estrutural**. 2000. 145f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

MARQUES, L. et al. Blocos de concreto: características do processo de produção na região metropolitana do Recife. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. 28., 2008, Rio de Janeiro. **Anais...**Rio de Janeiro: enegep, 2008. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_TN_STP_069_496_12161.pdf>. Acesso em: 1º mar. 2018.

PARSEKIAN, G. A.; HAMID, A. A.; DRYSDALE, R. G. **Comportamento e dimensionamento de alvenaria estrutural**. São Carlos: Edufscar, 2013.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. São Paulo: Pini, 2003.

Metodologia Construtiva

Convite ao estudo

Caro aluno, seja bem-vindo a mais uma etapa. Nas unidades anteriores, fomos apresentados aos conceitos básicos da alvenaria, concepção estrutural e os critérios de dimensionamento dos elementos estruturais. Estes conceitos são fundamentais para a elaboração de um bom projeto. Avançando em nosso estudo, esta unidade tem como objetivo apresentar as metodologias construtivas, abordando a sequência de assentamento da alvenaria, os detalhes construtivos mais utilizados, as recomendações quanto às instalações prediais, e a consideração das juntas de dilatação.

Vamos imaginar que você trabalha em uma empresa especializada em estruturas de alvenaria e o projeto que você tanto se dedicou se encontra finalmente em fase de execução. Porém, agora começam a aparecer novos desafios.

O edifício será construído em uma pequena cidade, onde há escassez de mão de obra especializada. Os poucos trabalhadores que existem na região não conhecem a alvenaria estrutural, e contratar uma equipe de fora pode inviabilizar o projeto.

Você sabe que um dos principais objetivos da alvenaria estrutural é a racionalização dos serviços, o que proporciona economia de tempo e material. Mas para que tudo corra bem é importante que haja conhecimento das técnicas construtivas, afinal, um rasgo em uma das paredes pode comprometer toda a estrutura.

Visando resolver este problema, a melhor solução encontrada foi realizar um curso de capacitação para instruir os trabalhadores a lidar com este material. Assim, deve ser explicado a eles o passo a passo do assentamento da alvenaria,

bem como os cuidados que devem tomar na execução para evitar danos na estrutura.

Para o projeto estrutural já elaborado, ainda será necessário ilustrar alguns detalhes construtivos, visando cobrir qualquer dúvida que possa ocorrer na obra. Este é um processo extremamente importante para evitar problemas e garantir sua qualidade, devendo ser realizado conforme as considerações de cálculo. Neste caso, exige-se uma dedicação especial devido à falta de capacitação da mão de obra.

Seu papel, como engenheiro civil responsável pela edificação, é entender a metodologia construtiva e esclarecer eventuais dúvidas acerca do projeto e da execução.

A fim de fornecer os meios para solucionar a situação apresentada, dividimos o conteúdo em três seções, sendo que na primeira serão abordados temas relacionados à sequência de assentamento da alvenaria, à importância da mão de obra especializada e às principais ferramentas auxiliares para execução das paredes.

Em seguida, na Seção 2, abordaremos as informações pertinentes às instalações prediais, às principais recomendações de execução das instalações elétricas e hidráulicas e aos detalhamentos de projeto. Por fim, na Seção 3, abordaremos os principais materiais utilizados nas juntas de dilatação e de controle e os principais aspectos quanto à sua aplicação.

Seção 4.1

Modulação das fiadas

Diálogo aberto

Caro aluno, durante as últimas seções abordamos os principais conceitos necessários para o correto dimensionamento estrutural. Prosseguindo em nosso estudo, nesta seção iremos apresentar os processos de execução das paredes em alvenaria, abordando o passo a passo do assentamento dos blocos, a importância da qualificação da mão de obra e os principais materiais auxiliares empregados.

Lembre-se de que você é o engenheiro responsável por um edifício em alvenaria estrutural. Na cidade onde ele será construído não há mão de obra especializada. Visando resolver este problema, a melhor solução encontrada foi realizar um curso de capacitação para instruir os trabalhadores a lidar com o material.

Você entende a importância da qualificação para trabalhar com esse sistema estrutural, afinal, são muitos os erros que podem comprometer a estrutura. Por exemplo, uma parede desalinhada pode gerar maior excentricidade, ocasionando uma carga não prevista no projeto; o aumento da espessura da junta de assentamento pode ocasionar redução na resistência da parede, causando maior deformação lateral e fissuras; as juntas verticais não preenchidas ou com frissamento inadequado podem reduzir significativamente a capacidade resistente de tração paralela à junta de assentamento.

Neste sistema estrutural, os blocos desempenham dupla função, de vedação e estrutural, portanto, é extremamente importante não haver erros na execução.

Como você é o engenheiro responsável pela edificação, deve ministrar esse curso. Explique como devem ser assentados os blocos de alvenaria e a sequência de assentamento. Para resolver a situação proposta, será necessário conhecermos um pouco mais sobre a execução das paredes de alvenaria e os equipamentos auxiliares utilizados no assentamento.

Não pode faltar

O principal objetivo a ser atingido pelo sistema de alvenaria estrutural é proporcionar à obra maior produtividade e velocidade de execução. Desse modo, os canteiros devem ser industrializados, empregando unidades moduladas, procedimentos pré-estabelecidos, mão de obra qualificada e ferramentas adequadas.

A execução deve ser planejada em detalhes, com projetos especificando os materiais utilizados, paginação das paredes e modos de aplicação. A organização dos procedimentos de execução deve buscar maior produtividade através da otimização dos serviços e posicionamento do estoque de materiais.

Devido à complexidade dos processos construtivos, surgiram diversos modelos de organização do canteiro de obra, de modo que, atualmente, grande parte das construtoras desenvolveram sua própria metodologia de execução. No entanto, alguns procedimentos fazem parte da boa prática da obra, devendo ser adotados em qualquer edificação. A NBR 15961-2 (ABNT, 2011) indica alguns procedimentos a serem verificados antes do início da elevação:

- Verificar se a locação, esquadros e nivelamento da base de assentamento se encontram dentro dos limites especificados pelo projeto.
- Verificar se o posicionamento dos reforços e tubulações se encontram conforme projeto.
- Realizar a limpeza do pavimento onde a alvenaria será executada, removendo completamente materiais que possam prejudicar a aderência da argamassa.
- Realizar a limpeza dos blocos e dos demais materiais, removendo completamente materiais que possam prejudicar seu desempenho.

Ainda, a referida norma recomenda algumas práticas a serem atendidas durante a etapa de elevação:

- Cuidar para que os blocos depois de assentados não sejam movidos para que não percam a aderência com a argamassa.
- As paredes de alvenaria sejam preferencialmente executadas com blocos inteiros e seus complementos, sendo permitido

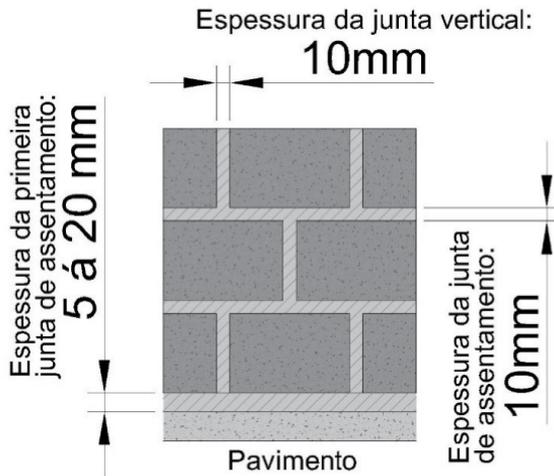
blocos cortados apenas nos casos previstos no projeto e obtidos mediante a condições controladas.

- As paredes estruturais não devem possuir amarração direta com paredes não estruturais.

Além dos itens indicados pela norma, é recomendável realizar um pequeno estoque de blocos perto do local de execução. Lembrando também que em qualquer tipo de obra deve-se utilizar os equipamentos de proteção individual.

A NBR 15961-2 (ABNT, 2011) determina as espessuras das juntas de argamassa utilizadas para o assentamento dos blocos, conforme Figura 4.1

Figura 4.1 | Limites das espessuras das juntas verticais e horizontais.



Fonte: elaborada pelo autor (2017).

Passo a passo de assentamento de blocos

Antes de iniciar a execução da alvenaria, é necessário efetuar a preparação da superfície. As áreas que receberão as unidades devem estar limpas, por meio de lavagem ou com a utilização de escovas de aço. As regiões de contato entre estruturas de concreto e alvenaria deverão ser chapiscadas para aumentar a aderência da ligação.

Satisfeitas as condições iniciais, é realizada a marcação da alvenaria. Assim, através de uma linha, marca-se a posição da 1ª fiada de todas as paredes, indicando a posição das portas e *shafts*. Em seguida, com

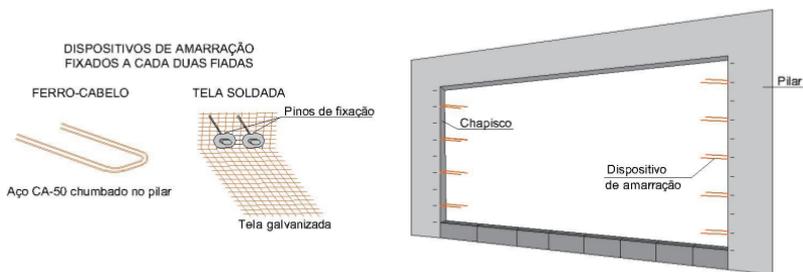
o auxílio de um esquadro, é verificado se as paredes se encontram perfeitamente perpendiculares.

Posiciona-se um sarrafo retilíneo marcando cada fiada de alvenaria, conforme o projeto de paginação. Este sarrafo funcionará como uma régua, guiando o assentamento de cada fiada, portanto, deve-se encontrar perfeitamente o prumo e posicionar em uma das extremidades onde será executada a parede. E outro sarrafo também em nível posicionado na outra extremidade da parede.

Quando existir esquadrias no painel de parede a ser executado, é importante a instalação dos gabaritos. Os gabaritos são estruturas metálicas ou de madeira com a mesma dimensão da esquadria, sendo posicionados nos vãos de portas e janelas para auxiliar o assentamento dos blocos.

No caso em que os painéis de alvenaria são executados entre estruturas de concreto armado, faz-se necessária a aplicação de dispositivos de amarração, como o emprego de ferros-cabelo, ou telas soldadas, conforme ilustrado na Figura 4.2.

Figura 4.2 | Dispositivos de amarração da alvenaria



Fonte: elaborada pelo autor (2017).

Para iniciar a elevação da alvenaria, é definido a altura da fiada com o auxílio de uma linha posicionada, a partir as marcações feitas na régua. Para a execução da primeira fiada, é recomendável molhar a superfície do pavimento antes da aplicação da argamassa na região de assentamento.

O assentamento deve ser iniciado pelas extremidades, assentando alguns blocos em uma extremidade e na outra, conforme ilustrado pela Figura 4.3.

Figura 4.2 | Dispositivos de amarração da alvenaria



Fonte: elaborada pelo autor (2017).

Os blocos devem ser assentados com aplicação da argamassa nas paredes laterais, para preenchimento das juntas verticais, respeitando a dimensão da junta acabada de 10 mm. Sempre deve ser verificado se os blocos estão nivelados. Repete-se a sequência, preenchendo as fiadas do meio, até que a primeira fiada esteja completa. Depois a linha é esticada na altura da próxima fiada, sendo aplicada a argamassa nas paredes longitudinais e transversais do bloco.

O acabamento da junta deve ser realizado conforme especificado em projeto, de modo que possua um aspecto uniforme.

O assentamento da próxima fiada também é iniciado pelas extremidades, utilizando um nível e o prumo para sua conferência. Devemos nos atentar para a amarração, seguindo o que foi especificado no projeto de paginação.



Assimile

Podemos resumir a sequência de assentamento nos seguintes procedimentos:

1. Preparação da superfície.
2. Marcação da primeira fiada.
3. Verificação quanto ao esquadro da marcação.
4. Posicionamento da régua e altura das demais fiadas.

5. Verificação quanto ao prumo da régua.
6. Instalação dos gabaritos e dispositivos de amarração.
7. Posicionamento da linha na altura da primeira fiada.
8. Umedecimento da superfície de assentamento.
9. Aplicação da argamassa na região de assentamento.
10. Aplicação da argamassa nas paredes laterais do bloco.
11. Assentamento dos blocos.
12. Conferência do prumo e nível dos blocos.
13. Acabamento das juntas.
14. Aplicação de argamassa nas paredes longitudinais e transversais do bloco.
15. Posicionamento da linha na altura da próxima fiada.
16. Repetir a sequência de 10 a 15.



Pesquise mais

A Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) desenvolveu uma cartilha instruindo o assentamento da alvenaria estrutural, fornecendo diversos detalhes construtivos muito importantes para a execução das paredes. Veja nesta cartilha os detalhes construtivos indicados. Esta cartilha está disponível em:

https://edisdisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3183762/mod_resource/content/1/ABCP%20-%20Alvenaria%20Estrutural%20passo%20a%20passo.pdf. Acesso em: 8 dez. 2017.

Mão de obra especializada

Uma das maiores vantagens do uso da alvenaria estrutural é a melhoria na produtividade, porém, a qualificação da mão de obra é fundamental para que a redução no tempo de execução não comprometa a segurança da edificação.

No Brasil, grande parte da mão de obra está adaptada ao sistema construtivo de concreto armado, no qual a alvenaria desempenha apenas papel de vedação. Neste sistema, uma falha no assentamento das alvenarias dificilmente ocasionará em um grande erro estrutural, limitando-se, na maioria das vezes, ao consumo excessivo de argamassa para correção das imperfeições geométricas.

Porém, no sistema de alvenaria estrutural, as paredes funcionam como estruturas. O assentamento influencia na precisão geométrica do conjunto de paredes, logo, se executado de forma incorreta, pode alterar todo o mecanismo estrutural do pavimento, comprometendo sua segurança. Desse modo, a mão de obra especializada é um fator decisivo para a eficiência do sistema construtivo.

No entanto, muitas vezes, as construtoras têm dificuldade em encontrar mão de obra qualificada disponível no mercado, de forma que a falta de profissionais qualificados é uma realidade constatada por diversos autores.

Segundo Hoffmann (2012), a pouca disponibilidade de profissionais qualificados no sistema construtivo em alvenaria estrutural acaba levando as empresas a contratarem trabalhadores sem essa experiência. Constata-se, ainda, uma carência de treinamento desses profissionais, o que demanda tempo e recursos financeiros, desmotivando os empresários a utilizarem o sistema.



Reflita

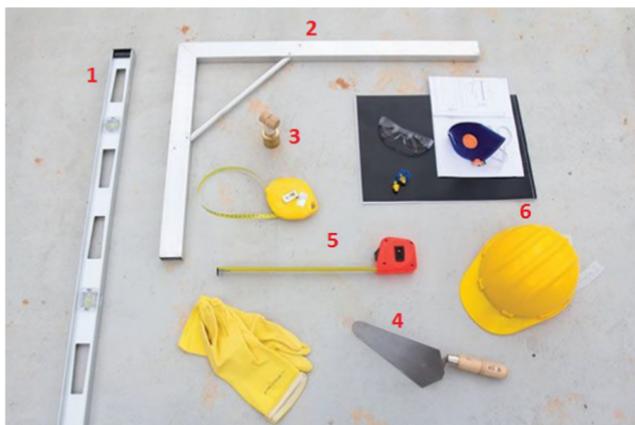
Em qualquer sistema construtivo, sempre escutamos o discurso de que falta mão de obra qualificada. Apesar de um grande número de profissionais, é muito difícil encontrar uma equipe que domine as práticas do sistema construtivo. Reflita sobre o motivo desta falta de especialização dos profissionais e o que poderia ser feito para qualificá-los.

Equipamentos auxiliares

Os equipamentos utilizados no assentamento possuem grande influência nos índices de produtividade. Uma equipe com elevado índice de produtividade pode não apresentar o desempenho esperado caso as ferramentas não ofereçam o suporte adequado ao profissional. Por esse motivo é muito importante a escolha correta dos equipamentos.

Existe no mercado um vasto número de equipamentos auxiliares para assentamento dos blocos estruturais, alguns muitos simples, como prumo, régua, esquadro, e outros mais complexos, como o nível alemão e a trena a laser. Os principais equipamentos para assentamento de alvenaria são ilustrados na Figura 4.4 e relacionados a seguir:

Figura 4.4 | Materiais usualmente utilizados no assentamento de blocos.



Fonte: <<http://equipedeobra.pini.com.br/construcao-reforma/58/imagens/i376544.jpg>>. Acesso em: 8 dez. 2017.

1. Escantilhão ou sarrafo são utilizados para marcação das paredes de alvenaria, como guia para o assentamento das fiadas.
2. Esquadro é utilizado para verificar se os encontros de parede estão perpendiculares, conforme o projeto.
3. Prumo vertical e Nível são utilizados para verificar se os blocos estão nivelados, sendo que o primeiro verifica o nivelamento vertical do conjunto de fiadas e o segundo o nivelamento horizontal entre os blocos.
4. Colher de pedreiro é utilizada para aplicar a argamassa nas faces dos blocos.
5. Trensas são utilizadas para medir distâncias em geral.
6. EPIs são dispositivos de segurança individual de uso obrigatório para qualquer serviço realizado dentro do canteiro de obras.

Os equipamentos básicos para assentamento, algumas vezes, são substituídos por outros mais produtivos com o mesmo objetivo.



Usualmente para aferição do nível entre duas paredes é utilizada uma mangueira com água, levando uma ponta em cada parede e constatando a diferença entre as duas alturas pelo nível da água no tubo. Apesar de simples, este procedimento ocupa dois profissionais e pode ser substituído pelo uso no nível alemão, ilustrado na Figura 4.5, que com apenas um funcionário é capaz de aferir a diferença de nível.

Figura 4.5 | Ilustração do nível alemão.



Fonte: <<http://tecnologysequipamentos.com.br/nivel-alemao/>>. Acesso em: 8 dez. 2017.

São muitas as substituições que podem ser feitas. A escolha do equipamento deve levar em consideração o nível de experiência que os funcionários possuem com os equipamentos e a relação entre o custo do investimento e o desempenho esperado pela equipe.

Sem medo de errar

Na construção civil, cada profissional desempenha um papel específico e a qualidade do produto final é consequência do trabalho da equipe. A separação dos trabalhos exige que cada profissional tenha um conhecimento técnico específico sobre cada etapa da obra. Dessa maneira, os cursos de capacitação profissional têm sido cada vez mais utilizados para preparar a mão de obra para as situações específicas de cada serviço.

Lembre-se de que você realizará um curso de capacitação para instruir os trabalhadores acerca da forma correta de se executar as

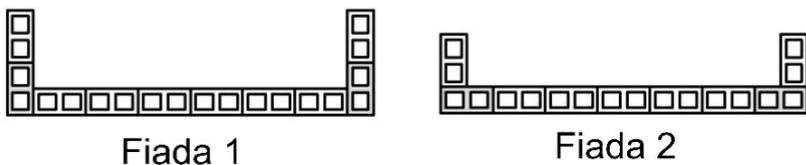
estruturas em alvenaria. Você entende a importância da qualificação para trabalhar com esse sistema estrutural, afinal, são muitos os erros que podem comprometer a estrutura.

Como você é o engenheiro responsável pela edificação, deverá ministrar esse curso. Explique como devem ser assentados os blocos de alvenaria e a sequência de assentamento.

Você começa o curso explicando que o sistema de alvenaria estrutural é diferente das estruturas habituais de concreto armado. Nesse sistema as paredes desempenham função simultânea de vedação e estrutura, de forma que qualquer erro na execução das paredes pode implicar em falta de segurança da obra. Assim, é de fundamental importância que a execução ocorra de forma precisa, com todas as paredes niveladas e aprumadas.

Outra consideração muito importante ocorre em relação à solidarização das paredes. No momento de projeto, é considerado uma compatibilização de esforços entre as paredes e, para que isso ocorra, os blocos não podem ser assentados a prumo, deve-se alterná-los entre as fiadas, conforme a Figura 4.6

Figura 4.6 | Disposição das unidades de alvenaria entre as fiadas



Fonte: elaborada pelo autor (2017).

Também devem ser tomados alguns cuidados antes da execução, como a limpeza da superfície e o umedecimento antes da aplicação de argamassa.

O processo de assentamento da alvenaria estrutural é similar ao de vedação, com a diferença entre o nível de precisão e o cuidado na execução do serviço.

O assentamento se inicia pela marcação da alvenaria. Assim, através de uma linha, marca-se a posição da 1ª fiada de todas as paredes, conferindo o esquadro para garantir que se encontram perfeitamente perpendiculares. Em seguida, é posicionada uma régua para marcação da altura das fiadas. Esta régua pode ser um

sarrafo retilíneo, com as marcações de altura ou com o uso de um escantilhão metálico.

Com o auxílio de uma linha, é definida a altura da fiada utilizando as marcações da régua. Então, é aplicada argamassa na região de assentamento e posicionados os primeiros blocos nas extremidades, seguindo o projeto de paginação. A espessura da primeira junta de assentamento deve ser de 5 a 20 mm.

Os blocos devem ser assentados com aplicação da argamassa nas paredes laterais, para preenchimento das juntas verticais, respeitando a dimensão da junta acabada de 10 mm. Sempre deve ser verificado se os blocos estão nivelados.

Repete-se a sequência, preenchendo as fiadas do meio, até chegar na posição das portas ou janelas. Então, são posicionados os gabaritos e continua-se com o assentamento, até que a primeira fiada esteja completa. Depois, a linha é esticada na altura da próxima fiada, sendo aplicada a argamassa nas paredes longitudinais e transversais do bloco que servirá de base.

Outra recomendação é a instalação dos dispositivos de amarração a cada 2 fiadas, para aumentar a solidarização entre as paredes. Estes podem ser ferros de pequena espessura, conhecidos como ferros cabelo ou telas metálicas.

O assentamento da fiada superior também é iniciado pelas extremidades, utilizando um nível e o prumo para sua conferência. Deve-se atentar para o acabamento da junta, que precisa apresentar um aspecto uniforme, conforme detalhado em projeto.

Avançando na prática

Otimizando as ferramentas de execução

Descrição da situação-problema

Uma empresa procurou seu escritório para uma consultoria. O engenheiro responsável não está satisfeito com a produtividade de sua equipe. Após a realização de vários cursos de capacitação para sua equipe, ainda não foi atingido o resultado esperado. Uma das alternativas, então, é otimizar as ferramentas de trabalho. Proponha

uma solução para o engenheiro indicando novos procedimentos e ferramentas mais produtivas que ele poderia empregar em sua obra.

Resolução da situação-problema

Após analisar os procedimentos de execução adotados pelo engenheiro, você propõe que antes de iniciar a execução da alvenaria seja realizado um pequeno estoque de blocos perto do local de execução, reduzindo a frequência que o profissional se desloca para buscar material.

Ainda, para otimizar as ferramentas de trabalho podem ser feitas as seguintes substituições:

- Substituir o sarrafo de madeira pelo escantilhão metálico, pois a fixação é mais rápida, o material é mais leve e reduz significativamente a imprecisão do assentamento.
- Para a aplicação da argamassa, você propõe que seja utilizada a bisnaga, uma vez que sua aplicação é mais rápida e a quantidade de material aplicado na superfície do bloco é melhor controlada.
- A utilização do nível alemão que permite a aferição de nível entre dois pontos relativamente distantes por apenas um profissional.

A utilização de gabaritos para portas e janelas, além de melhorar a precisão das dimensões dos vãos, também reduz o tempo de execução, uma vez que auxilia no assentamento dos blocos próximos aos vãos.

Faça valer a pena

1. Sobre os procedimentos necessários para o início da elevação da alvenaria, avalie as seguintes afirmações:
 - I. As paredes estruturais não devem possuir amarração direta com paredes não estruturais.
 - II. As paredes de alvenaria devem ser preferencialmente executadas com blocos inteiros e seus complementos, sendo permitidos blocos cortados em obra para pequenos remendos.
 - III. Como o serviço de assentamento da alvenaria não promove danos

físicos ao trabalhador, é dispensado o uso dos equipamentos de proteção individual.

- IV. Após a conclusão da primeira fiada, deve-se verificar se o posicionamento dos reforços e tubulações se encontram conforme projeto.

Assinale a alternativa correta

- a) Apenas as afirmativas I, II e IV estão corretas.
- b) Apenas as afirmativas I e III estão corretas.
- c) Apenas as afirmativas II, IV e V estão corretas.
- d) Apenas as afirmativas I e IV estão corretas.
- e) Somente a afirmativa I está correta.

2. O assentamento do bloco é uma das etapas mais importantes na execução da edificação de alvenaria, devendo ser realizado de forma precisa e sem imperfeições geométricas. Sobre os procedimentos de execução, marque V para verdadeiro ou F para falso:

- () A limpeza realizada antes da elevação da alvenaria visa remover impurezas que possam reduzir a aderência entre a base e a argamassa.
- () A verificação quanto ao nível dos blocos é dispensada quando usado o conjunto de escantilhão com a linha, uma vez que estas ferramentas já são apuradas antes do início da elevação da alvenaria
- () É recomendável que o assentamento seja iniciado pelas extremidades, deixando inicialmente o centro vazio, assentando alguns blocos em uma extremidade e na outra.
- () O projeto de paginação é uma sugestão de execução, de modo que é comum durante a execução da alvenaria o emprego de uma unidade de bloco a mais ou a menos.

Assinale a alternativa correta

- a) V - V - V - F
- b) F - V - F - V
- c) V - F - F - V
- d) F - V - F - F
- e) V - F - V - F

3. Sobre os equipamentos auxiliares utilizados para o assentamento da alvenaria, avalie as seguintes afirmações:

- I – O escantilhão é utilizado como uma régua, pois possui as marcações da altura de cada fiada e auxilia no ajuste do nível de cada fiada.
- II. O prumo vertical é um instrumento constituído de um material de

elevado peso, fixado em uma linha, sendo muito utilizado para verificar a altura de assentamento das fiadas.

III. O esquadro é uma ferramenta utilizada para verificar se o ângulo formado entre duas fiadas de alvenarias possui 45° ou 90° .

IV. O nível alemão é instrumento utilizado para aferição do nível entre dois pontos distintos.

Assinale a alternativa correta.

- a) Apenas as afirmativas I, III e IV estão corretas.
- b) Apenas as afirmativas I e III estão corretas.
- c) Apenas as afirmativas II, IV e V estão corretas.
- d) Apenas as afirmativas I e IV estão corretas.
- e) Apenas as afirmativas II e III estão corretas

Seção 4.2

Detalhes Construtivos e Instalações

Diálogo aberto

Caro aluno, na seção anterior abordamos os principais métodos de execução e considerações necessárias para a elevação da alvenaria estrutural. Prosseguindo em nosso estudo, agora, iremos nos aprofundar na execução das instalações elétricas e hidráulicas e as principais considerações que devem ser feitas ainda na fase de projeto, visando a racionalização da execução.

Lembre-se de que você está oferecendo um curso de capacitação aos funcionários que irão trabalhar na execução de um edifício de alvenaria estrutural.

Neste tipo de edificação, os blocos estruturais apresentam dupla função: vedação e estrutura. Qualquer recorte nos elementos representa um dano à estrutura do edifício e pode acarretar em perda de estabilidade.

Dessa forma, é fundamental que a equipe entenda a importância de não haver cortes nas paredes do edifício, principalmente, durante a execução das instalações elétrica e hidráulica.

Buscando a correta execução das instalações, são tomadas algumas precauções na fase de projeto. Explique quais cuidados devem ser tomados na etapa de projeto para evitar este tipo de falha e como os trabalhadores devem proceder na execução das instalações elétricas e hidráulicas.

Para resolver a situação proposta, você deve conhecer mais sobre as principais soluções adotadas para racionalizar o processo construtivo das instalações elétricas e hidráulicas, bem como a importância dos detalhamentos de projeto para a correta execução da edificação.

Não pode faltar

Os projetos de instalações prediais possuem grandes interferências nos elementos estruturais e no modelo arquitetônico da edificação. Por este motivo, no sistema de alvenaria estrutural, é

fundamental a compatibilização entre os projetos, devendo ocorrer a interação prévia entre os profissionais responsáveis de cada área, objetivando identificar as regiões de interferências e propor as melhores soluções.

Recomendações gerais para as instalações

As paredes no sistema de alvenaria estrutural são elementos portantes e, assim, não admitem cortes e rasgos para passagem das tubulações, uma vez que estes procedimentos poderiam comprometer a estabilidade da edificação. Por este motivo, é indispensável a verificação das interferências entre os elementos estruturais e as instalações ainda na fase de projeto, analisando também quanto ao atendimento das normas específicas.

As principais normas que tratam quanto ao desempenho e as características das instalações prediais são:

- NBR 15.575: 2013 - Edificações Habitacionais – Desempenho.
- NBR 7.198: 1993 - Projeto e Execução de Instalações Prediais de Água Quente.
- NBR 5.626: 1998 - Instalação Predial de Água Fria.
- NBR 5.410: 2004 Versão Corrigida: 2008 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão.
- NBR 15961-2: 2011 - Alvenaria Estrutural - Blocos de Concreto - Parte 2: Execução e Controle de Obras.

No sistema tradicional, as instalações são executadas após a elevação da alvenaria, havendo a necessidade de rasgos nas paredes para passagem das tubulações. Este método gera um considerável volume de entulhos, além do desperdício de material e mão de obra. Já no sistema de alvenaria estrutural, ao contrário do sistema tradicional, as instalações são executadas simultaneamente com a elevação da alvenaria, dispensando os cortes para passagem da tubulação. Dessa maneira, além de preservar a integridade dos blocos, ainda contribui para a otimização do processo produtivo, reduzindo o desperdício de materiais, mão de obra e a quantidade de entulhos. Falhas neste processo de execução podem gerar a necessidade de rasgos nas paredes para instalação das tubulações, o que prejudicaria o desempenho estrutural da edificação e a racionalização do sistema.

Visando maior facilidade na execução das instalações, podemos adotar os modelos de tubulação aparente, ou então, se necessário, para um melhor aspecto visual podemos adotar o modelo de tubulações embutidas. A disposição das tubulações deve considerar a frequência e facilidade de manutenção das tubulações, o tipo de acabamento desejado e o modo de execução.

- Tubulações Aparentes

A utilização de tubulações aparentes não é uma prática muito comum em edificações residenciais, uma vez que pode prejudicar a arquitetura e nem sempre é possível garantir sua integridade. No entanto, é muito comum em edificações industriais. A grande vantagem deste modelo é a facilidade de manutenção. Qualquer dano na tubulação é facilmente identificado e reparado sem necessidade de demolição para acesso às tubulações.



Pesquise mais

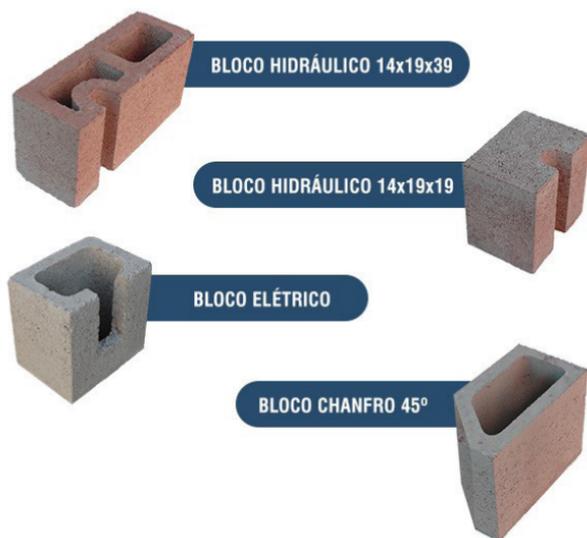
Apesar de não ser comum o uso de tubulações aparentes em edificações residenciais, existe um movimento arquitetônico, conhecido por estilo industrial, que utiliza tubulações mais resistentes, geralmente, em aço galvanizado e que expõe as tubulações como elementos arquitetônicos. Pesquise mais sobre o assunto e observe que, quando bem aplicado, o estilo gera além das vantagens de manutenção, um benefício arquitetônico.

- Tubulações embutidas.

As tubulações embutidas proporcionam melhor acabamento e proteção ao sistema. Quando utilizadas, devem ser previstas em projeto, sendo a passagem considerada na verificação estrutural como um elemento não resistente. Esta passagem deve permitir a manutenção da tubulação sem danificar os elementos estruturais.

Para promover maior facilidade na execução das instalações embutidas, muitas vezes, são utilizados blocos especiais, que possuem aberturas com dimensões apropriadas para a passagem das tubulações. No mercado existe uma grande variedade de blocos especiais, para uso hidráulico e elétrico, os principais blocos encontrados são ilustrados na Figura 4.7

Figura 4.7 | Principais blocos especiais disponíveis no mercado.



Fonte: Disponível em: <<http://www.pgcblocos.com.br/index.php?p=10&p2=MTA=6t=BLOCO+ESTRUTURAL&artigo=5>>. Acesso em: 18 dez. 2017.

Outra solução muito adotada para o embutimento das tubulações é a consideração de *shafts*. Os *shafts* são passagens livres destinadas à concentração de tubulações hidráulicas ou elétricas, que podem se apresentar no sentido vertical ou horizontal. Geralmente são localizados em regiões com grande concentração de tubulações, posicionados estrategicamente, de modo que seja possível sua distribuição a todos os pontos de consumo com o menor comprimento possível. Este elemento reduz significativamente a interferência das instalações prediais com a estrutura, provocando apenas uma pequena alteração no modelo arquitetônico.

Com a utilização do *shaft*, é possível remover grande parte das instalações das paredes, o que apresenta uma considerável vantagem estrutural, uma vez que as tubulações, quando embutidas no interior da parede, muitas vezes, obrigam a desconsiderar esta parede como elemento estrutural.

Os *shafts*, portanto, são uma solução muito adotada, pois além de reduzirem as interferências, ainda promovem maior facilidade de execução e de manutenção do sistema.

O modelo mais comum de *shaft* vertical é a utilização de uma parede falsa, com função de esconder a tubulação. No sentido horizontal, o shaft pode possuir acabamento em forro de gesso, sendo a tubulação posicionada na passagem livre localizada entre forro de gesso e a laje.

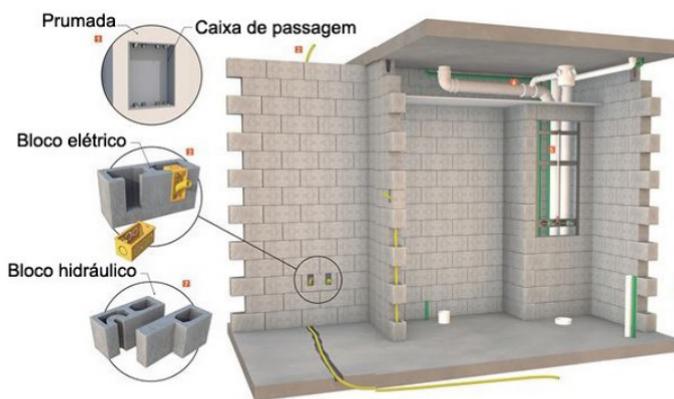
É comum haver casos em que uma solução apenas não atende a todas as instalações e, nesse sentido, podemos adotar uma combinação de soluções.



Exemplificando

Utilizando a combinação de blocos especiais, shafts verticais e horizontais, podemos propor soluções abrangendo todas as instalações prediais, conforme ilustrado pela Figura 4.8.

Figura 4.8 | Modelo de combinação entre blocos especiais e shafts hidráulicos



Fonte: <<http://www.pgcblocos.com.br/index.php?p=10&p2=MTA=6t=BLOCO+ESTRUTUR+RAL&artigo=5>>. Acesso em: 18 dez. 2017.

Projeto de instalações hidráulicas

O projeto de instalação hidráulica, assim os demais sistemas construtivos, deve ser realizado conforme as especificações técnicas das normas vigentes, em especial a NBR 5626 (ABNT, 1998) e a NBR 7198 (ABNT, 1993). No caso de edificações em alvenaria estrutural, este projeto merece uma atenção especial.

Os diâmetros das tubulações hidráulicas, em sua maioria, apresentam elevada dimensão, o que dificulta sua manutenção e impossibilita seu uso dentro de elementos estruturais.

Mesmo quando a tubulação é de pequena dimensão, não é recomendável o seu uso dentro de paredes estruturais, uma vez que a existência desta tubulação no interior das paredes inviabiliza a manutenção sem a interferência nos elementos estruturais.

Para resolver este problema, usualmente, os projetos podem adotar algumas soluções, tais como: definir algumas paredes que possam ser utilizadas como paredes hidráulicas, ou seja, sem função estrutural ou utilizar shafts, que permitam a passagem de um número maior de tubulações com diâmetros mais elevados.

No primeiro caso, a disposição de paredes hidráulicas fica limitada à capacidade de resistência das demais paredes do edifício. O modelo arquitetônico dos edifícios em alvenaria, normalmente, possui uma elevada concentração de paredes, com vãos livres consideravelmente reduzidos. Como abordado nas seções anteriores, a elevada concentração de paredes, frequentemente, é necessária para que a tensão solicitante no bloco não fique demasiadamente elevada. Assim, muitas vezes, deixar de considerar um painel de parede como elemento estrutural, torna-se inviável.

Nos casos em que existe a possibilidade do uso de paredes hidráulicas, é importante o posicionamento estratégico destas, visando utilizar o menor número possível, pois quanto maior o comprimento total de trechos sem capacidade de suporte, menor é a eficiência da edificação.

Outra solução que pode ser adotada é o uso de shafts. Nos projetos hidráulicos, estes elementos são posicionados próximos das áreas molhadas. Apesar de gerar uma pequena perda de espaço interno, esta solução é muito adotada pois permite a passagem de várias tubulações em um mesmo espaço, sem muita limitação de diâmetro, permitindo uma fácil inspeção sem a necessidade de quebrar paredes.

Em ambos os casos, a passagem da tubulação no sentido horizontal deve ser evitada. Quando necessária, deve ser previsto em projeto forros nos ambientes, sendo o encaminhamento da tubulação realizado na região entre o forro e a laje.

Buscando maior racionalização do processo construtivo, pode ser prevista a adoção de kits hidrossanitários, sendo realizada a montagem na obra através das centrais de instalações ou comprando os kits já montados. Este modelo reduz o volume de material

desperdiçado e proporciona maior produtividade na obra, porém, o controle geométrico dos kits deve ser rigoroso para garantir que o produto se encaixe perfeitamente nos locais previstos.



Assimile

Para maior eficiência dos elementos hidráulicos, a planta do edifício precisa ser favorável. O projeto arquitetônico deve apresentar uma distribuição de ambientes de modo que as áreas molhadas fiquem próximas, prevendo-se a solução adotada para o encaminhamento das tubulações é por meio de shafts ou paredes hidráulicas. Assim, é recomendável que a cozinha, a área de serviço e o banheiro fiquem próximos, preferivelmente com os dispositivos hidráulicos instalados todos na mesma parede. Desse modo, os comprimentos das tubulações serão reduzidos, bem como o número de passagens.

Também podem ser adotados os blocos hidráulicos que permitem a passagem vertical das tubulações, de modo que uma futura manutenção seja possível sem quebrar a parede

Projetos de instalações elétricas

No sistema de alvenaria estrutural, as paredes são elementos portantes, assim, a execução de rasgos pode comprometer a segurança da edificação. Por este motivo, as instalações elétricas neste sistema são executadas simultaneamente com a elevação da alvenaria. É recomendável que os projetos prevejam uma prumada em cada ponto elétrico.

As instalações podem ser feitas tanto por *shafts* quanto embutidas nas paredes estruturais. O primeiro caso é o menos comum, visto que geralmente os eletrodutos possuem um diâmetro pequeno, então, a sua passagem pelas paredes estruturais pode ser feita sem grandes problemas e, nesse sentido, a utilização de shafts pode prejudicar a arquitetura. Para facilitar a execução, existem no mercado blocos especiais com abertura para encaixe das caixas no tamanho 4x2 ou 4x4 (Figura 4.9), utilizadas para tomadas e interruptores.

Figura 4.9 | Modelo de combinação entre blocos especiais e shafts hidráulicos



Fonte: <<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/sistemas-construtivos/1/projetos-complementares/projeto/8/projetos-complementares.html>>. Acesso em: 18 dez. 2017.



Refleta

Por que as tubulações hidráulicas mesmo quando possuem pequeno diâmetro não podem ser aplicadas no interior de paredes estruturais, no entanto, as tubulações elétricas podem? Existe uma diferença de manutenção entre essas instalações?

O emprego dos blocos elétricos provoca um aumento de produtividade, uma vez que não há necessidade de cortar as unidades para encaixe das caixas. Caso o fabricante não forneça os blocos já cortados, é possível montar uma unidade de corte utilizando serras de discos diamantados. O recorte deve ser feito conforme especificado em projeto.

Quando existe um volume muito grande de eletrodutos, como no caso das prumadas elétricas utilizadas para medição do serviço, é comum o emprego de shafts verticais, geralmente, posicionados próximos ao elevador ou escadas. Estes devem permitir o fácil acesso às instalações para manutenção periódicas.

Detalhamentos de projeto

Durante a elaboração dos projetos, diversas decisões são tomadas e devem ser corretamente representadas para que o profissional que realizará a execução da obra possa entender o modo que

deve ser executado. Assim, o detalhamento do projeto consiste na demonstração gráfica das soluções adotadas, procurando ser o mais claro e autoexplicativo possível. É claro que se torna inviável representar todo o processo construtivo, no entanto, o projeto deve ser claro o suficiente para que seja executado sem gerar dúvidas.

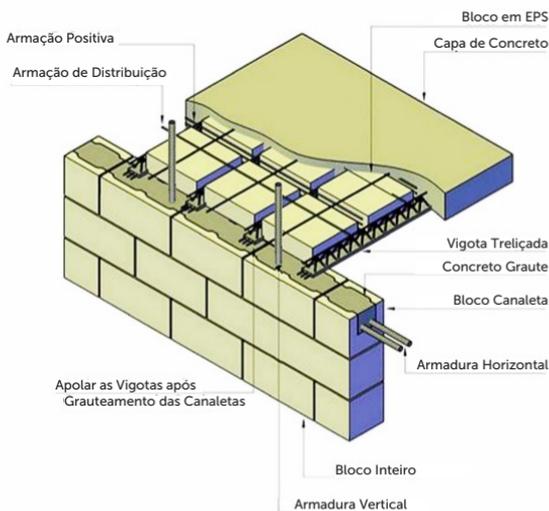
A decisão do que deve ser detalhado e como deve ser feito, muitas vezes, é atribuído ao engenheiro projetista, que define a melhor forma de representar uma solução, conforme a sua vivência na área. Deste modo, geralmente, engenheiros mais experientes conseguem produzir projetos mais detalhados. No entanto, é importante que os novos profissionais que ingressam no mercado tomem conhecimento da necessidade do bom detalhamento, representando em projeto todas as decisões tomadas.



Exemplificando

Se no dimensionamento estrutural das paredes de alvenaria foi considerado a distribuição das cargas laterais, como foi apresentado na Seção 2.3, é de suma importância garantirmos a rigidez da ligação entre a laje e a parede, de modo que no projeto estrutural conste um detalhamento desta ligação, como exemplificado na Figura 4.10.

Figura 4.10 | Detalhamento de ligação entre laje e parede de alvenaria.



Fonte: adaptado de Tauil (2010, pg. 74).

Caso não seja detalhado, a ligação entre estes elementos pode não ser executada com rigidez suficiente, de modo que a laje se comporte como elemento simplesmente apoiado na alvenaria, assim, não ocorrerá a distribuição dos esforços laterais e algumas regiões apresentarão tensões solicitantes muito maiores do que a prevista, comprometendo a segurança da edificação.

Sem medo de errar

A alvenaria estrutural é muito utilizada visando maior produtividade na construção, porém, a qualificação da mão de obra é fundamental para que a redução no tempo de execução não comprometa a segurança da edificação.

Lembre-se: você está oferecendo um curso de capacitação aos funcionários que irão trabalhar na execução de um edifício de alvenaria estrutural, e deve explicar quais cuidados devem ser tomados na etapa de projeto para evitar este tipo de falha, e como os trabalhadores devem proceder na execução das instalações elétricas e hidráulicas.

Você começa explicando que o sistema de execução em alvenaria é muito diferente do sistema tradicional, pois no sistema tradicional as instalações são realizadas após o levantamento da alvenaria, utilizando rasgos e cortes para embutimento da tubulação. Porém, no caso das alvenarias estruturais, a execução de rasgos pode comprometer a segurança da edificação, de modo que as instalações não podem apresentar interferências com as paredes.

Para resolver este problema, podemos adotar diversas soluções, que dependerão principalmente da disposição arquitetônica e dos elementos estruturais.

Assim, na etapa de projeto é fundamental a interação prévia entre os profissionais responsáveis de cada área, objetivando identificar as regiões de interferências entre os projetos. Nesta fase, deve ser verificado pelo menos:

- O melhor posicionamento da caixa da água.

- A possibilidade de utilizar paredes hidráulicas.
- As regiões onde poderão ocorrer a passagem de tubulações no interior das paredes.
 - Os cômodos onde serão utilizados os forros.
 - A viabilidade do uso de *shafts*.
 - O melhor posicionamento dos shafts ou parede hidráulica.
 - O melhor posicionamento das prumadas hidráulicas.

A execução das instalações ainda deve permitir posterior manutenção, sem que haja a necessidade de intervenções na estrutura.

As soluções mais adotadas são:

- Consideração de paredes hidráulicas.
- Determinação de *shafts*.
- Utilização de blocos especiais.

Assim, os projetos já devem contemplar a solução adotada, devendo ser seguidos fielmente na execução.

Na etapa de locação da alvenaria, devem ser marcados os pontos onde será necessária a passagem das tubulações e, durante o levantamento das paredes, deve-se verificar no projeto de paginação os locais indicados para o posicionamento dos blocos especiais. É muito importante que as unidades de alvenaria nunca sejam cortadas.

Avançando na prática

Elaborando detalhe construtivo das tubulações

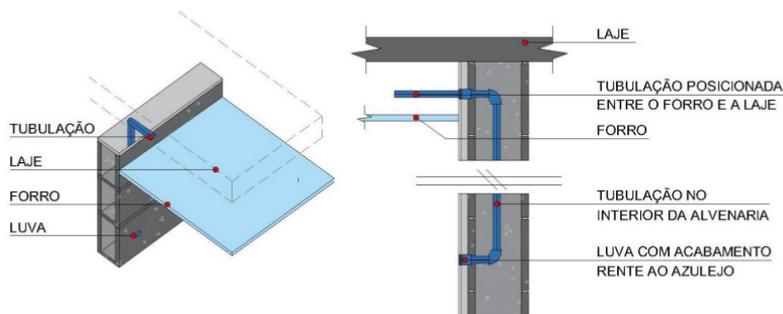
Descrição da situação-problema

Você é o engenheiro responsável pelo projeto de uma edificação em alvenaria estrutural. Após visita à obra, são constatadas muitas dúvidas em relação à execução das tubulações nas paredes hidráulicas. Para evitar que ocorram falhas de execução, você deve em seu projeto elaborar um detalhe construtivo informando como devem ser posicionadas as tubulações no interior da parede e quais cuidados devem ser tomados.

Resolução da situação-problema

Você sabe que nas paredes hidráulicas as tubulações são embutidas no interior das alvenarias e a parede não é considerada como elemento estrutural. No entanto, mesmo com sua utilização, deve-se evitar rasgos e recortes nas paredes, uma vez que esse procedimento prejudica a produtividade da obra, assim, as aberturas nos blocos para passagem da tubulação devem ser previamente executadas. Para auxiliar a compreensão da execução das instalações, você elabora o detalhe construtivo ilustrado na Figura 4.11.

Figura 4.11 | Detalhe construtivo parede hidráulica



Fonte: elaborada pelo autor (2017).

Neste tipo de solução é comum a adoção de forros nos ambientes de área molhada, visando esconder a tubulação. Neste caso, a tubulação horizontal é posicionada entre a laje e o forro, conforme ilustrado na Figura 4.11.

Faça valer a pena

1. Sobre as recomendações gerais para a execução das instalações elétricas e hidráulicas, avalie as seguintes afirmações:
 - I. No sistema de alvenaria, as instalações são executadas após a elevação da alvenaria, havendo a necessidade de rasgos nas paredes para passagem das tubulações.
 - II. No sistema de alvenaria, as instalações são executadas simultaneamente com a elevação da alvenaria, dispensando os cortes para passagem da tubulação.
 - III. As tubulações aparentes possuem uma grande vantagem sobre a embutida, que é a facilidade de identificar e reparar a tubulação sem

a necessidade de demolição de alvenaria, por este motivo é muito utilizada em edificações residenciais.

- IV. Quando utilizadas tubulações embutidas, estas devem permitir a manutenção sem a necessidade de interferência em elementos estruturais.
- V. As tubulações embutidas geralmente possuem custo mais elevado do que as tubulações aparentes, no entanto, são as mais utilizadas em edificações residenciais, uma vez que proporcionam melhor acabamento às instalações.

Assinale a alternativa correta.

- a) Apenas as afirmativas I, II e IV estão corretas.
- b) Apenas as afirmativas I e III estão corretas.
- c) Apenas as afirmativas II, IV e V estão corretas.
- d) Apenas as afirmativas I e IV estão corretas.
- e) Somente a afirmativa I está correta.

2. Sobre os métodos de execução das instalações hidráulicas, marque V para verdadeiro ou F para falso:

- () Os *shafts* são passagens livres destinadas à concentração de tubulações hidráulicas ou elétricas, que podem se apresentar no sentido vertical ou horizontal.
- () As paredes hidráulicas devem ser posicionadas em regiões com grande concentração de tubulações, de modo que seja possível sua distribuição a todos os pontos de consumo com o menor comprimento possível.
- () As paredes hidráulicas não podem ser consideradas elementos que contribuem para a resistência da edificação, uma vez que em caso de manutenção partes delas poderão ser demolidas.
- () A vantagem da parede hidráulica em relação ao *shaft* é que a parede hidráulica pode ser aplicada sem reduzir a quantidade de paredes estruturais na edificação.
- () Para promover maior facilidade na execução das instalações embutidas, muitas vezes, são utilizados blocos especiais que possuem aberturas com dimensões apropriadas para a passagem das tubulações.

Assinale a alternativa que apresenta a sequência correta.

- a) V - F - V - F - V
- b) V - V - F - V - V
- c) V - V - V - F - V
- d) F - F - F - V - V
- e) F - V - F - V - F

3. Texto-base:

Sobre as recomendações para a execução das instalações, avalie as seguintes afirmações:

I - O diâmetro das tubulações hidráulicas, em sua maioria, apresentam elevada dimensão, o que dificulta a sua manutenção e impossibilita o seu uso dentro de elementos estruturais.

II - Quando a tubulação hidráulica possuir pequena dimensão, é permitido seu uso dentro de paredes estruturais.

III - A passagem da tubulação no sentido horizontal sempre deve ser evitada e, quando utilizada, é recomendável a utilização de forros nos ambientes.

IV - As instalações hidráulicas podem ser feitas tanto por *shafts* quanto embutidas nas paredes estruturais.

V - As tubulações elétricas podem ser posicionadas no interior das paredes estruturais, mesmo no caso de prumadas elétricas, com grande volume de eletroduto.

Enunciado:

Assinale a alternativa correta.

- a) Apenas as afirmativas I, II e IV estão corretas.
- b) Apenas as afirmativas I e III estão corretas.
- c) Apenas as afirmativas II, IV e V estão corretas.
- d) Apenas as afirmativas I e IV estão corretas.
- e) Somente a afirmativa I está correta.

Seção 4.3

Juntas de Dilatação e de Controle

Diálogo aberto

Caro aluno, durante as últimas seções tratamos sobre os procedimentos de execução de uma edificação em alvenaria estrutural, abordando desde a elevação da alvenaria, até as considerações sobre as instalações elétricas e hidráulicas. Prosseguindo em nosso estudo, agora iremos nos aprofundar acerca dos procedimentos de execução das juntas de dilatação e de controle, buscando compreender quando devem ser empregadas, quais os materiais que devem ser utilizados e a importância delas para a qualidade da edificação.

Lembre-se: você está oferecendo um curso de capacitação aos funcionários que irão trabalhar na execução de um edifício de alvenaria estrutural. Para sua conclusão, é necessário que você apresente aos trabalhadores algumas recomendações gerais para a execução das juntas.

Em todos os métodos construtivos existe a necessidade de utilização das juntas. Para o caso de edificações constituídas de alvenaria estrutural, são determinados dois tipos diferentes de juntas: de controle e de dilatação. As juntas são dispositivos indispensáveis para evitar o aparecimento de fissuras.

Para encerramento do curso, você deve explicar aos trabalhadores as principais diferenças entre os tipos de juntas, quais os principais materiais empregados e como devem ser executadas.

Para que possamos solucionar a situação proposta, será necessário nos aprofundarmos no estudo das juntas de dilatação e de controle, conhecer os principais materiais utilizados em sua execução e os métodos de aplicação.

Não pode faltar

A movimentação da estrutura é uma das principais causas de patologia nas edificações em alvenaria estrutural. Este efeito é

influenciado por diversos fatores como:

- As propriedades dos materiais: coeficiente de dilatação térmica, taxa de retração e taxa de absorção de umidade.
- As características físicas: extensão dos elementos de alvenaria e volume de material.
- Os fatores ambientais: temperatura e grau de umidade.

Estes fatores contribuem para a movimentação dos elementos, causando problemas principalmente devido à dilatação térmica e à retração dos materiais.

A retração provoca uma variação volumétrica dos painéis de alvenaria, que tende a reduzir seu tamanho. No entanto, usualmente estes elementos possuem restrições, impedindo que a variação de volume ocorra, assim, surgem tensões de tração nos elementos, que podem causar fissuras. Para evitar que isso ocorra, o controle da movimentação pode ser realizado pelo emprego de juntas de dilatação e de controle, que permitem o livre movimento da estrutura. Para avaliar de maneira quantitativa a espessura das juntas, é necessário ensaio de retração dos blocos, seguindo as recomendações da NBR 12117 (ABNT, 1991).



Refleta

Em termos de comportamento estrutural, quando executada uma junta de dilatação entre dois painéis de alvenaria, qual a alteração de comportamento que ocorre? Será que estes painéis ainda poderão ser considerados solidarizados na compatibilização dos esforços?

A retração total dos painéis de alvenaria é uma medida referente à relação do volume que foi reduzido pelo comprimento da estrutura, ou seja, a unidade utilizada para medir a retração de uma peça é mm/m. Esta relação é associada a diversos fatores, sendo inviável definir precisamente seu valor exato. No entanto, podemos obter uma boa estimativa considerando a soma da parcela, devido à retração por carbonatação com a retração por secagem.

Segundo Parsekian (2007), a retração por carbonatação decorre da reação química entre os materiais cimentícios e o dióxido de carbono presente na atmosfera, sendo caracterizada por um processo lento e que ocorre ao longo de vários anos. O mesmo

autor ainda sugere considerar um valor de 0,25 mm/m para a retração por carbonatação, ou seja, uma redução de 0,25 mm no volume da peça a cada metro linear.

Conforme indicado por diversas normas internacionais, como *Building Code Requirements for Masonry Structures* (MSJC, 2005), o efeito de retração utilizado para o dimensionamento de juntas pode ser estimado em:

$$\Delta_{TOTAL} = 0,25 + 0,5 \cdot \Delta_{sb}$$

Onde,

Δ_{TOTAL} Representa a retração total em mm/m.

Δ_{sb} Representa a retração por secagem do bloco, obtida pelo ensaio de secagem, conforme NBR 12117 (ABNT, 1991).

Parsekian (2002) ainda sugere um valor limite para retração de 0,5 mm/m.

Além do emprego de juntas de dilatação, também é recomendável a adoção de algumas medidas para redução da retração como:

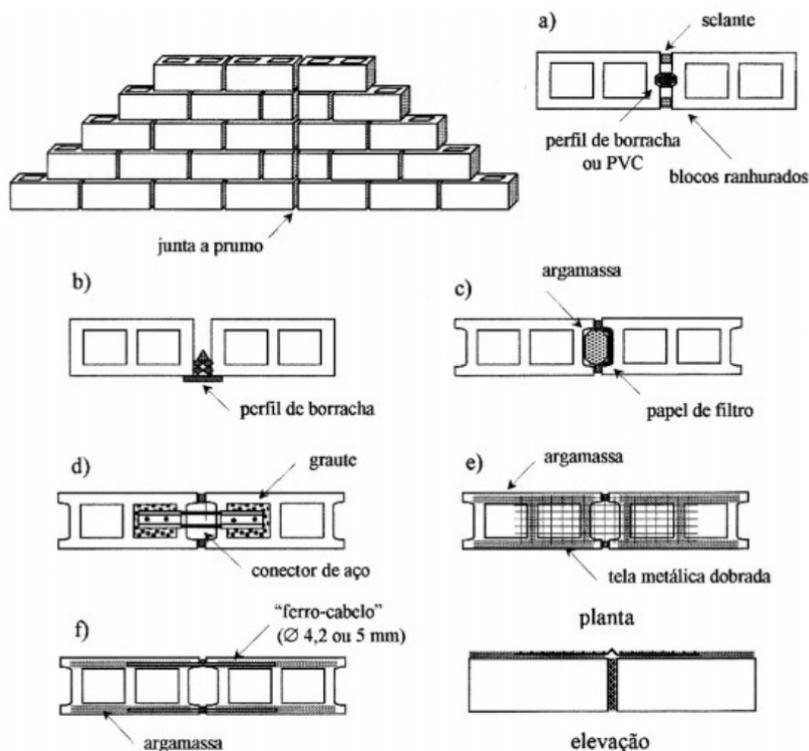
- Controle do traço para a fabricação das unidades. Quanto menor a proporção de cimento, menor o potencial de retração.
- Controle de umidade e graduação durante a fabricação das unidades.
- Processo de cura adequado. O ideal é que a retração irreversível ocorra nos primeiros dias, antes do assentamento das unidades. Para isso, é recomendável sempre verificar se os blocos adquiridos passaram pelo processo de cura a vapor.

Segundo Parsekian (2007), quando não for possível utilizar blocos com cura a vapor, além de verificar se o produto atende a todas as exigências normativas, é importante aguardar um maior período para assentamento.

As juntas de movimentação e de controle devem ser previstas em projeto, limitando a dimensão dos painéis para reduzir a concentração de tensões provenientes de deformação excessivas. Devem ser elementos estanques para evitar a penetração de água e surgimento de patologias e, ainda assim, devem permitir

o livre movimento da estrutura. Exemplos de juntas são ilustrados na Figura 4.12.

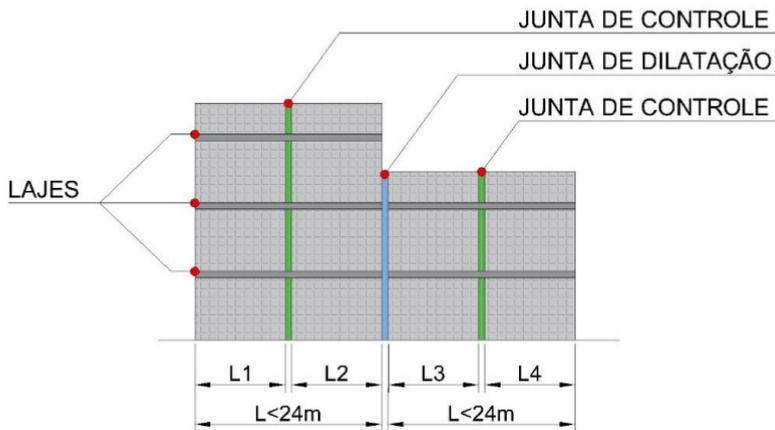
Figura 4.12 | Exemplo de diversos tipos de junta



Fonte: Vilató e Franco (1998).

A junta de dilatação difere-se da junta de controle, pois no primeiro caso a intenção é permitir o livre movimento da estrutura como um todo, sendo seccionados todos os elementos estruturais, de modo que a edificação se comporte como duas estruturas distintas. A execução da junta de dilatação é muito utilizada para controle da dilatação térmica em elementos muito extensos ou para separar elementos com comportamento distintos. Já na junta de controle, o corte é realizado apenas em alguns elementos, como nos painéis de alvenaria, sendo usualmente empregado como medida para evitar fissuras por retração, variação de carregamento, entre outros fatores que provoquem deformação no elemento. Um exemplo de aplicação das juntas é ilustrado na Figura 4.13.

Figura 4.13 | Representação de uma edificação com junta de dilatação e juntas de controle



Fonte: adaptada de Richter (2007, p. 49).

Enquanto a junta de controle isola apenas os painéis de alvenaria, as juntas de dilatação isolam a estrutura como um todo, seccionando também a laje, de modo que o comportamento estrutural ocorra como se fosse duas edificações distintas.

Juntas de dilatação: materiais

Os materiais empregados na execução das juntas de dilatação devem ser escolhidos de acordo com a amplitude de movimento da estrutura. Usualmente são aplicadas placas de poliestireno expandido no interior das juntas, empregando-se um acabamento estanque, como selante elástico, poliuretano, silicone, entre outros.

Entre os principais materiais utilizados para a vedação das juntas de dilatação destacam-se o uso de:

- Mastiques de enchimento: o seu uso é recomendado para juntas de dilatação com baixa amplitude de movimento, em torno de 2mm a 5mm.
- Mantas asfálticas: o seu uso recomendado para juntas de dilatação com média amplitude de movimento, em torno de 5mm a 15mm
- Perfis de borracha ou PVC inseridos sob pressão: o seu uso é recomendado para juntas de dilatação com alta amplitude

de movimento, absorvendo deformações de até 130mm, dependendo do tipo de material.



Assimile

Tanto no caso de junta de dilatação quanto para as juntas de controle deve ser realizado um acabamento na região da secção para evitar a penetração de agentes corrosivos. Assim, em ambos os casos, é necessária a aplicação de um material impermeável e flexível, que permita o movimento das estruturas.

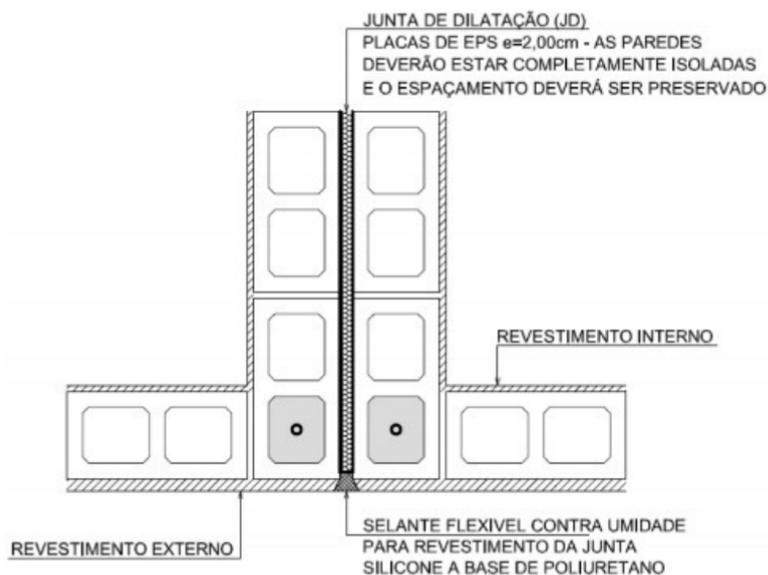
Os materiais e dimensões das juntas devem constar no projeto executivo. É recomendada a indicação de um detalhe no projeto, ilustrando a forma de execução planejada na concepção do projeto.



Exemplificando

Um exemplo de detalhe de execução de junta de dilatação é representado pela Figura 4.14.

Figura 4.14 | Exemplo de detalhe de junta de dilatação



Fonte: Eidt (2010, p. 60).

Juntas de dilatação: aplicação

Segundo a NBR 15812-1 (ABNT, 2010), as juntas de dilatação devem ser aplicadas respeitando uma distância máxima de 24 metros. A referida norma ainda permite alteração no limite imposto desde que seja realizada uma avaliação mais precisa dos efeitos da variação de temperatura e da retração sobre a estrutura, incluindo a influência das armaduras alojadas nas juntas de assentamento.

Para a execução das juntas, é recomendável a realização dos seguintes procedimentos:

1. Antes da execução da junta deve-se limpar a região do corte com compressor de ar ou pincel, retirando completamente partículas soltas que possam prejudicar a aderência do material.
2. Efetuar a limpeza das bordas do revestimento com álcool isopropileno com a finalidade de remover quaisquer gorduras ou matérias orgânicas que porventura se encontrem na região.
3. Introduzir no interior da junta um material com boa elasticidade e compressível, usualmente, é aplicado poliuretano ou poliestireno expandido.
4. Realizar a vedação da junta de dilatação com a aplicação de mastiques de enchimento, manta asfáltica ou perfis de borracha.



Pesquise mais

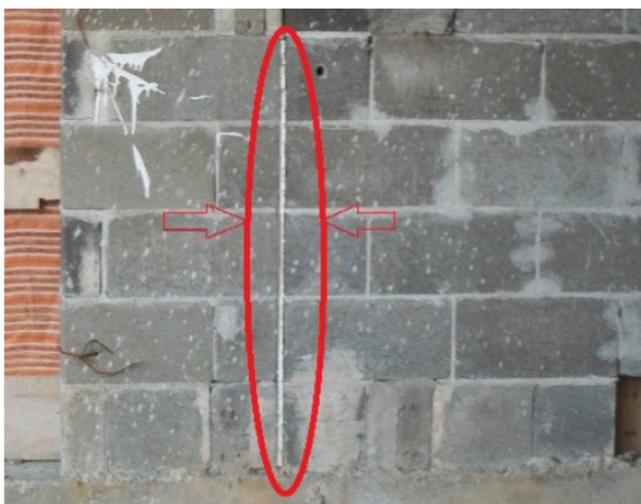
Além da aplicação das juntas de dilatação nos painéis de alvenaria, ainda existem outros casos muito comuns, como a aplicação na região de apoio entre a laje de cobertura e a parede de alvenaria. Como a laje de cobertura geralmente fica exposta à incidência de raios solares, pode sofrer uma grande variação de temperatura e, conseqüentemente, dilatações em sua estrutura, sendo necessária a execução de juntas na região da ligação com as paredes. Pesquise mais sobre as juntas de dilatação neste caso, procure entender quando e como devem ser executadas. Para maior entendimento sobre o assunto, é recomendável a leitura das seguintes bibliografias: o capítulo 1.8 do livro *Nova normalização brasileira para alvenaria estrutural*, de Emil Sánchez, 1. ed., Rio de Janeiro: Interciência, 2013 (disponível na biblioteca virtual); e também o livro *Alvenaria estrutural, construindo conhecimento*, de Gihad Mohamad, 1. ed., Blucher, 2017.

Juntas de controle: materiais

Os mesmos materiais empregados na execução da junta de dilatação podem ser utilizados para a execução das juntas de controle. A principal diferença entre os dois casos é que como as juntas de controle usualmente são menores que as juntas de dilatação, muitas vezes, torna-se inviável a aplicação do poliuretano ou poliestireno expandido em seu interior. Assim, os materiais para execução da junta de controle, muitas vezes, limitam-se ao emprego mastiques e selantes flexíveis.

A Figura 4.15 ilustra um caso típico de junta de controle utilizando apenas o selante flexível.

Figura 4.15 | Exemplo de junta de controle com selante flexível



Fonte: Eidt (2010, p. 59).

Juntas de controle: aplicação

Os procedimentos para a execução das juntas de controle são semelhantes aos das juntas de dilatação. A principal diferença em sua aplicação está na consideração dos espaçamentos mínimos exigidos pela norma.

Conforme a NBR 15812-1 (ABNT, 2011), as juntas de controle devem ser aplicadas nos elementos de alvenaria com a finalidade de prevenir o surgimento de fissuras, devido à variação de temperatura,

retração, variação brusca de carregamento, variação de altura ou espessura da parede.

A referida norma ainda indica o espaçamento máximo das juntas verticais para os painéis de alvenaria contidos em um único plano, conforme a Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Valores máximos de espaçamento entre juntas verticais de controle

Localização do elemento	Limites (m)	
	Alvenaria sem armadura horizontal	Alvenaria com taxa de armadura horizontal maior ou igual a 0,04% da altura vezes a espessura
Externa	7	9
Interna	12	15

Nota 1	Os limites acima devem ser reduzidos em 15%, caso a parede tenha abertura.
Nota 2	No caso de paredes executadas com blocos não curados a vapor, os limites devem ser reduzidos em 20%, caso a parede não tenha abertura.
Nota 3	No caso de paredes executadas com blocos não curados a vapor, os limites devem ser reduzidos em 30%, caso a parede tenha abertura

Fonte: NBR 15812-1 (ABNT, 2011, p. 24)

Sem medo de errar

As juntas de dilatação e de controle são mecanismos muito importantes para garantir a eficiência estrutural e evitar o surgimento de patologias. No entanto, uma junta executada incorretamente, além de ineficiente, pode contribuir para a entrada de umidade na estrutura que em casos extremos compromete a capacidade de suporte das paredes e, por consequência, a segurança da edificação. Assim, é de fundamental importância que a equipe de execução possua conhecimento sobre os modos de execução de cada junta e sua importância.

Lembre-se: você está oferecendo um curso de capacitação aos funcionários que irão trabalhar na execução de um edifício de alvenaria estrutural. Para sua conclusão, será necessário que você apresente aos trabalhadores algumas recomendações gerais para a execução das juntas. Ainda, explique qual a principal diferença entre as juntas de dilatação e de controle, quais materiais empregados e como podem ser executadas.

Você, então, inicia o curso explicando que as juntas são mecanismos utilizados para absorver a movimentação da estrutura. Os elementos de alvenaria estrutural sofrem variações volumétricas ao longo do tempo, de acordo com os fatores climáticos e propriedades dos materiais. Dessa forma, é importante prever espaços que permitam estes movimentos.

Estes elementos devem ser calculados limitando a dimensão dos painéis para reduzir a concentração de tensões provenientes de deformação excessivas, assim, é de suma importância que a execução siga fielmente as representações dos projetos.

O acabamento final das juntas deve garantir estanqueidade aos elementos, evitando a penetração de água. Falhas nesse procedimento podem acarretar no surgimento de patologias que prejudicam o desempenho estrutural da edificação.

Nas edificações em alvenaria existem dois tipos de juntas: de dilatação e de controle. No primeiro caso, a junta se apresenta contínua, seccionando os elementos estruturais a fim de que a edificação se comporte como duas estruturas distintas. Já na junta de controle, o corte é realizado apenas no elemento, como nos painéis de alvenaria, ou seja, enquanto a junta de controle isola apenas os painéis de alvenaria, as juntas de dilatação isolam a estrutura como um todo.

Os materiais empregados na execução das juntas são escolhidos de acordo com a amplitude de movimento da estrutura. O material mais comum utilizado no interior das juntas é o poliestireno expandido (isopor), devendo ainda ser aplicado um acabamento estanque, conforme indicado em projeto.

Antes da execução da junta, é recomendável efetuar a limpeza da região do corte, utilizando para o interior da junta um compressor de ar ou pincel, retirando completamente partículas soltas que possam prejudicar a aderência do material. Já nas bordas, deve-se utilizar

álcool isopropileno, removendo quaisquer gorduras ou matérias orgânicas que se encontrem na região.

Em seguida, é posicionado o poliestireno expandido no interior da junta e realizada a vedação com a aplicação de mastiques de enchimento, manta asfáltica ou perfis de borracha.

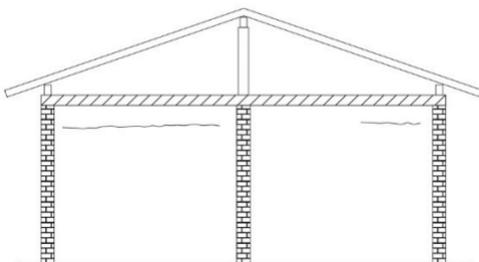
Avançando na prática

Patologias devido à falta de juntas

Descrição da situação-problema

Você foi nomeado perito judicial em um processo, no qual a casa do autor é de alvenaria estrutural e apresenta diversas fissuras horizontais na parte superior da parede de alvenaria próxima à laje de cobertura, conforme esquematizado pela Figura 4.16.

Figura 4.16 | Fissura horizontal acentuada no topo da parede

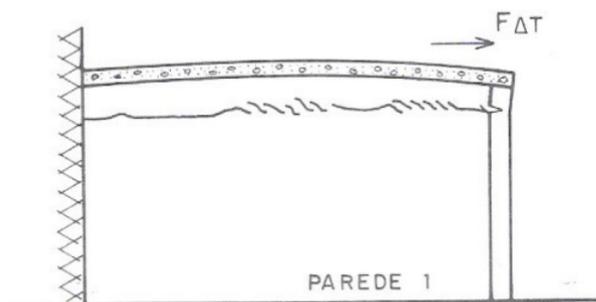


Fonte: Vitório (2003, p. 47).

Resolução da situação-problema

Por se tratar de uma fissura horizontal próxima à laje de cobertura, é muito provável que ela tenha sido causada pela restrição ao movimento da laje. Como a laje é de cobertura, pode sofrer grande dilatação térmica devido à exposição ao sol. Se sua deformação é restringida pela existência da parede de alvenaria, ocorre tensões de tração no topo da parede, que podem provocar fissuras na região. O mecanismo de formação destas fissuras pode ser esquematizado pela Figura 4.17

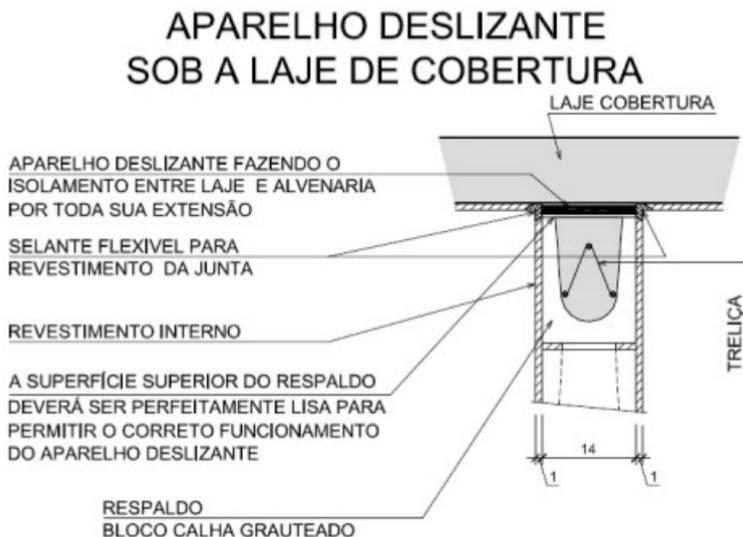
Figura 4.17 | Fissura horizontal acentuada no topo da parede



Fonte: Thomaz (1989, p. 23).

Neste caso, para evitar a ocorrência destas fissuras deveria ter sido executada uma junta com um mecanismo que permitisse o deslocamento da laje por cima da alvenaria. Um exemplo deste mecanismo é detalhado na Figura 4.18.

Figura 4.18: Detalhe executivo de junta deslizante sobre laje de cobertura



Fonte: Eidt (2003, p. 51).

Faça valer a pena

- 1.** Sobre a utilização de juntas nas edificações em alvenaria estrutural, avalie as seguintes afirmações:
- I. As juntas são elementos construtivos que fazem parte das boas práticas e não possuem influência na estrutura.
 - II. A posição e espessura das juntas de dilatação devem ser definidas ainda na fase de projeto, pois influenciarão diretamente no comportamento estrutural da edificação.
 - III. As juntas quando bem executadas permitem a solidarização da estrutura, garantindo melhor desempenho à edificação.
 - IV. As estruturas de alvenaria estão sujeitas a variações volumétricas e, na inexistência de juntas, a restrição ao deslocamento pode provocar fissuras na região tracionada da estrutura.

Assinale a alternativa correta.

- a) Apenas as afirmativas I, II e IV estão corretas.
- b) Apenas as afirmativas I e III estão corretas.
- c) Apenas as afirmativas II, IV e V estão corretas.
- d) Apenas as afirmativas II e IV estão corretas.
- e) Somente a afirmativa I está correta.

2. As juntas de controle e de dilatação são aplicadas com objetivos diferentes e devem ser corretamente executadas para garantir o desempenho da edificação. Sobre as principais características das juntas de dilatação e controle, marque V para verdadeiro ou F para falso:

- () A junta de controle é utilizada para permitir o livre movimento entre as estruturas, seccionando todos os elementos, de forma que a edificação se comporte como duas estruturas distintas.
- () As juntas de dilatação são os elementos aplicados nas fendas que permitem a movimentação das estruturas e impedem a entrada de água.
- () Caso não conste no projeto estrutural, as juntas de dilatação devem ser executadas a cada 24 metros, conforme indicado pela NBR 15812-1 (ABNT, 2010).
- () As juntas de controle e dilatação devem ser dimensionadas a partir da deformação total da estrutura, visando reduzir as tensões no interior da alvenaria.
- () É recomendável a execução de juntas de controle nos casos em que houver grande variação de temperatura, retração, variação brusca de carregamento, variação de altura ou espessura da parede.

Assinale a alternativa correta.

- a) V - V - V - F - V
- b) F - V - F - V - V
- c) V - F - F - V - F
- d) F - V - F - F - V
- e) V - F - V - F - F

3. Sobre os materiais recomendados para execução das juntas, avalie as seguintes afirmações:

- I. Os materiais utilizados para a vedação das juntas devem ser rígidos e indeformáveis para garantir a durabilidade de estrutura.
- II. As juntas e seus materiais devem ser determinados conforme a amplitude do movimento prevista para a estrutura.
- III. Os materiais utilizados nas juntas devem possuir como característica a alta deformabilidade e permeabilidade para que possam absorver as deformações da estrutura e proteger a região contra a entrada de água.
- IV. O acabamento das juntas deve ser executado com material impermeável e flexível.
- V. As juntas, quando não executadas corretamente, podem contribuir para o surgimento de patologias na estrutura que, em casos graves, podem comprometer sua segurança.

Assinale a alternativa correta.

- a) Apenas as afirmativas I, III e IV estão corretas.
- b) Apenas as afirmativas I e III estão corretas.
- c) Apenas as afirmativas II, IV e V estão corretas.
- d) Apenas as afirmativas I e IV estão corretas.
- e) Apenas as afirmativas II e III estão corretas

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15961-2**: Alvenaria Estrutural – blocos de concreto – Parte 2: Execução e controle de obras. Rio de Janeiro, 2011.

_____. ABNT. **NBR 12117**: Blocos vazados de concreto para alvenaria - Retração por secagem - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1991.

_____. ABNT. **NBR 15575**: Edificações Habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

_____. ABNT. **NBR 15812-2**: Alvenaria Estrutural – blocos cerâmicos - Parte 2: Execução e controle de obras. Rio de Janeiro, 2010.

_____. ABNT. **NBR 15961-2**: Alvenaria Estrutural – blocos de concreto – Parte 2: Execução e controle de obras. Rio de Janeiro, 2011.

_____. ABNT. **NBR 6136**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural. Rio de Janeiro, 2016.

_____. ABNT. **NBR 5410**: Instalações Elétricas de Baixa Tensão - Versão Corrigida: 2008. Rio de Janeiro, 2004.

_____. ABNT. **NBR 5626**: Instalação Predial de Água Fria. Rio de Janeiro, 1998.

_____. ABNT. **NBR 7198**: Projeto e Execução de Instalações Prediais de Água Quente. Rio de Janeiro, 1993.

EIDT, André L. **Manifestações Patológicas Provenientes de Movimentações em Alvenaria Estrutural de Blocos**: Dispositivos de Prevenção utilizados na Região Metropolitana de Porto Alegre. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 73, 2010.

HOFFMANN, Luana G.; BRESSIANI, Lucia; FURLAN, Gladis C.; THOMAZ, William de Araujo. **Alvenaria Estrutural**: um levantamento das vantagens, desvantagens e técnicas utilizadas, com base em uma pesquisa bibliográfica nacional. Maringá: SIMPGEU, 2012.

MASONRY STANDARDS JOINT COMMITTEE. **Building Code Requirements for Masonry Structures (ACI 530-05/ASCE 5-05/TMS 402-05)**. Estados Unidos, 2005.

PARSEKIAN, G. A.; DEANA D. F.; BARBOSA, K. C. **Retração em alvenaria estrutural**. Técnica, São Paulo, 119 ed. 2007.

PARSEKIAN, G. A. **Tecnologia de produção de alvenaria estrutural protendida**. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 263p., 2002.

PARSEKIAN, Guilherme A.; HAMID, Ahmad A; DRYSDALE, Robert G. **Comportamento e Dimensionamento de Alvenaria Estrutural**. São Carlos: Edufscar, 2013.

PORTAL COMUNIDADE DA CONSTRUÇÃO. Disponível em: <http://www.comunidadeconstrucao.com.br/sistemas-construtivos/1/projetos-complementares/projeto/8/projetos-complementares.html>. Acesso em 18 dez. 2017.

PORTAL EQUIPE DE OBRA. Alvenaria Estrutural. Disponível em: <http://equipededeobra.pini.com.br/construcao-reforma/58/alvenaria-estrutural-projeto-indica-posicao-exata-para-cada-tipo-279798-1.aspx>. Acesso em: 08 dez. 2017.

PORTAL PGC BLOCOS. Disponível em: <http://www.pgcblocos.com.br/index.php?p=10&p2=MTA=&t=BLOCO+ESTRUTURAL&artigo=5>. Acesso em: 18 dez. 2017.

PORTAL PINI. Disponível em : <http://construcomercado17.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/177/artigo369750-1.aspx>. Acesso em: 18 dez. 2017.

PORTAL TECHNOLOGYS EQUIPAMENTOS. Nível Alemão. Disponível em: <http://tecnologysequipamentos.com.br/nivel-alemao/>. Acesso em: 08 dez. 2017.

PORTAL USP. Alvenaria estrutural: passo a passo. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3183762/mod_resource/content/1/ABCP%20-%20Alvenaria%20Estrutural%20passo%20a%20passo.pdf. Acesso em: 08 dez. 2017.

RAMALHO, Marcio A; CORRÊA, Márcio R. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. São Paulo: Pini, 2003.

RICHTER, Cristiano. **Qualidade em Habitações de Baixa Renda**: uma análise da confiabilidade e da conformidade. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 180, 2007.

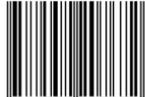
TAUIL, Carlos A; NESE, Flavio J. M. **Alvenaria estrutural**. São Paulo: Pini, 2010.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios**: causas, prevenção e recuperação. São Paulo: Pini; EPUSP; IPT, 1989.

VILATÓ, Rolando R.; FRANCO, Luiz S. **As Juntas de Movimentação na Alvenaria Estrutural**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 15. 1998.

VITÓRIO, Afonso. **Fundamentos da Patologia das Estruturas nas Perícias de Engenharia**. Instituto Pernambucano de Avaliações e Perícias de Engenharia. Recife, 2003.

ISBN 978-85-522-0767-2



9 788552 207672 >