

# ALVENARIA ESTRUTURAL

## Tão antiga e tão atual

Odilon Pancaro Cavalheiro

### 1. Entendendo a sua história

A alvenaria estrutural tem suas origens na Pré-História. É assim um dos mais antigos sistemas de construção da humanidade.

As primeiras alvenarias, em pedra ou em tijolo cerâmico seco ao sol, apresentavam grandes espessuras em suas obras mais imponentes, face ao desconhecimento das características resistentes dos materiais e de procedimentos racionais de cálculo. Valeu por muitos séculos a prática adquirida pelos construtores.

As construções em alvenaria de pedra ou tijolo cerâmico queimado, assentados com barro, betume e mais tarde com argamassas de cal, pozolana e finalmente cimento Portland, predominaram até o início de nosso século.

No final do século 19 as estruturas em aço começam a assumir o domínio das grandes obras, face a evolução dos métodos de cálculo e da tecnologia do metal, resultando em aproveitamento de espaços perdidos no então reinante empirismo da alvenaria estrutural.

Com o aprimoramento do cimento e o domínio do aço, as estruturas em concreto armado são marcantes no início do nosso século e se tornam, junto com as edificações metálicas, os sistemas estruturais predominantes até a metade do século, não só pela menor área útil ocupada, mas igualmente pelo custo mais baixo em relação às pesadas obras em alvenaria estrutural.

Por volta de 1950, entretanto, começam a surgir normas que permitem calcular a espessura necessária das paredes e a resistência das alvenarias, em bases de cálculo mais racionais e experimentações laboratoriais, principalmente na Suíça.

Bem sucedidos empreendimentos naquele país parecem ser responsáveis pelo ressurgimento do sistema construtivo em alvenaria estrutural na Europa na década de 50, quando foram construídos muitos prédios altos, com paredes bastante esbeltas.

Os anos 60 e 70 foram marcados por intensas pesquisas experimentais e aperfeiçoamento de modelos matemáticos de cálculo, objetivando projetos resistentes não só a cargas estáticas e dinâmicas de vento e sismo, mas também a ações de caráter excepcional, como explosões e retiradas de paredes estruturais.

Hoje, nos Estados Unidos, Inglaterra, Alemanha e muitos outros países, a alvenaria estrutural atinge níveis de cálculo, execução e controle, similares aos aplicados nas estruturas de aço e concreto, constituindo-se num econômico e competitivo sistema racionalizado, versátil e de fácil industrialização, face as diminutas dimensões do componente modular básico empregado (bloco).

As possibilidades de uso da alvenaria estrutural são muitas: habitações uni-familiares, prédios residenciais multi-familiares ou comerciais, de baixa e grande alturas, hotéis,

escolas, hospitais, galpões industriais, muros de arrimo, reservatórios (inclusive circulares), piscinas, silos, etc..

No Brasil, a alvenaria estrutural inicia no período colonial, com o emprego da pedra, tijolo de barro cru e taipa de pilão. Os primeiros avanços na técnica construtiva são marcados, já no Império, pelo uso do tijolo de barro cozido, a partir de 1850, proporcionando construções com maiores vãos e mais resistentes à ação das águas, sepultando a técnica da taipa de terra socada. Já no final do século 19 a precisão dimensional dos tijolos permitia a aplicação de alguns conceitos na direção da racionalização e industrialização.

Mas o largo emprego das estruturas de aço na Europa, nesta época, e a facilidade de importação, acabam por serem determinantes na utilização deste sistema nas grandes obras nacionais até os anos 20. O Viaduto Santa Efigênia e a Estação da Luz, em São Paulo, são dois exemplos típicos de estruturas importadas e aqui montadas, nesta época.

As estruturas em concreto armado, pelas mesmas razões, dominam grande faixa do mercado de edificações residenciais e comerciais.

Após a primeira grande guerra mundial, a instalação da indústria de cimento Portland no Brasil sacramenta o uso das estruturas em concreto armado, construindo-se prédios de grande altura, como o Edifício Martinelli, em São Paulo, com 30 andares.

Neste período as unidades de alvenaria produzidas no país, limitavam-se ao emprego em alvenarias de vedação.

Em meados da década de 60 é introduzida no Brasil a alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto, em prédios de até 4 pavimentos, com tecnologia e procedimentos baseados em normas americanas.

Daí para frente, os processos em alvenaria estrutural, empregando também blocos sílico-calcários e blocos cerâmicos, começam a ser utilizados em escala crescente, principalmente no estado de São Paulo, com base em normas da Inglaterra e Alemanha, entre outras.

Hoje, nosso país já conta com diversas normas da ABNT para cálculo, execução e controle de obras em alvenaria estrutural e o sistema começa a difundir-se em diversos outros estados da federação.

Em São Paulo, Minas Gerais e Goiás, não é rara a construção de edifícios habitacionais de 10 a 20 pavimentos em alvenaria estrutural armada.

Entre os diversos sistemas construtivos alternativos introduzidos no país nas últimas décadas, objetivando diminuir o déficit habitacional — sendo a maioria importados e não / ou mal adaptados à nossa realidade — parece ser a alvenaria estrutural o mais compatível com as condições de nossa cultura construtiva, tanto do ponto de vista de absorção e adequação de mão-de-obra, quanto das possibilidades de racionalização e diminuição de custos, mesmo sem garantia de demanda, pela ausência de uma política habitacional duradoura.

Economia, segurança, qualidade e rapidez de execução, permitem à alvenaria estrutural adequar-se tanto a obras populares como de padrões mais elevados.

O surgimento de grupos de pesquisa e de fabricantes de blocos estruturais, com modernas tecnologias, são suportes importantes para assegurar a permanência e o desenvolvimento deste sistema no Brasil. No entanto, estamos carentes de um maior número de profissionais, com conhecimentos de cálculo, execução e controle de obras em alvenaria estrutural.

Por isso, a democratização e o desenvolvimento pleno da alvenaria estrutural, parece estar, na opinião do autor, na introdução obrigatória ou eletiva de disciplina específica nos cursos de graduação de engenharia civil e de arquitetura de nossas universidades, pois ainda é grande o seu desconhecimento, como sistema, no meio de engenheiros, incorporadores e agentes financeiros do país.

## **2. Os Conceitos Básicos**

### **2.1- Estruturas Correntes**

Os sistemas estruturais mais empregados nas construções residenciais, comerciais e industriais podem compreender: **Estruturas Lineares**, formadas predominantemente por elementos lineares alongados, constituindo reticulados e **Estruturas Laminares**, formadas por elementos laminares planos, funcionando como chapas, quando as cargas atuam no seu plano médio ou placas, quando as cargas atuam perpendicularmente ao plano médio.

### **2.2- Alvenaria**

É o produto da composição básica, em obra, de tijolos ou blocos unidos entre si por argamassa, constituindo um conjunto resistente e estável.

### **2.3- Alvenaria Estrutural**

É toda a estrutura em alvenaria, predominantemente laminar, dimensionada por procedimentos racionais de cálculo para suportar cargas além de seu peso próprio.

Pela dupla função que seus elementos básicos (paredes) desempenham nas edificações ou seja, vedação e resistência, a estrutura, praticamente, confunde-se com o próprio processo construtivo.

Condicionada à função das armaduras a alvenaria estrutural pode se subdividir em:

2.3.1- *Alvenaria Estrutural Não Armada* — quando não possui armaduras ou estas são colocadas com finalidade construtiva ou de amarração, não sendo consideradas na absorção dos esforços. Estas armaduras, no entanto, são importantes para dar ductilidade à estrutura, uma vez que a alvenaria é frágil e evitar ou diminuir a fissuração em pontos de concentração de tensões, além de colaborar na segurança contra cargas não previsíveis, podendo impedir o colapso progressivo;

2.3.2- *Alvenaria Estrutural Armada* — aquela que possui armaduras colocadas em alguns vazados dos blocos ou entre tijolos, devidamente envolvidas por graute, para absorver os esforços calculados, além das armaduras construtivas e de amarração;

2.3.3- *Alvenaria Estrutural Parcialmente Armada* — quando parte da estrutura tem paredes com armaduras passivas para resistir aos esforços calculados, além das armaduras com finalidade construtiva ou de amarração, sendo as paredes restantes consideradas não armadas;

2.3.4- *Alvenaria Estrutural Protendida* — aquela na qual a armadura é pós-tensionada, sendo portanto ativa.

## 2.4- Materiais

São os constituintes básicos dos componentes utilizados na alvenaria estrutural, como, cimento, cal areia, argila, pedrisco e seus compostos no estado fresco, como a argamassa e o graute (micro-concreto), além de constituintes inseridos nos componentes, como o aço.

## 2.5- Componentes

São os entes que compõem os elementos da obra. Basicamente a alvenaria estrutural (como estrutura) tem dois componentes:

2.5.1- *Unidade de Alvenaria* — bloco ou tijolo industrializados e modulados, de formato externo de paralelepípedo, facilmente manuseáveis, que podem ser vazados, perfurados ou maciços e de diferentes composições de materiais e processos de fabricação, sendo os mais empregados de concreto, cerâmicos, sílico-calcários e de concreto celular autoclavado. Os blocos diferenciam-se dos tijolos, basicamente, por terem maiores dimensões que as máximas destes (250 x 120 x 55 mm de comprimento, largura e altura, respectivamente);

2.5.2- *Junta de Argamassa* — é a lâmina (ou cordão de argamassa) endurecida, intercalada e aderente às unidades de alvenaria que garante a monoliticidade do conjunto.

A armadura de aço, devidamente envolta no graute, é igualmente considerada um componente, sendo fundamental na alvenaria estrutural armada. Também o coxim de distribuição de eventuais cargas concentradas em paredes pode ser considerado um componente inserido na alvenaria. O coxim deve apresentar relação comprimento / altura não maior que 3.

## 2.6- Elementos

São partes da obra elaboradas com os componentes da alvenaria. Os elementos básicos da alvenaria estrutural são os seguintes:

2.6.1- *Parede* — lâmina vertical apoiada de modo contínuo em toda a sua base, com comprimento maior que cinco vezes a espessura. A parede de alvenaria classifica-se em:

2.6.1.1- “Parede Resistente” — toda aquela dimensionada para resistir cargas além do seu peso próprio. É também chamada de parede estrutural ou portante;

2.6.1.2- “Parede Não Resistente” — toda a parede que no projeto não é considerada com a finalidade de suporte de cargas, além do seu peso próprio. É também dita de vedação ou não portante, podendo ser uma parede hidráulica, com a finalidade de embutir as tubulações;

2.6.1.3- “Parede de Contraventamento” — aquela destinada a promover o travamento da estrutura, absorvendo esforços provenientes de ações externas e de efeitos de segunda ordem. É chamada também de parede de travamento, podendo ser ainda pilar-parede.

2.6.2- *Pilar* — todo o elemento estrutural em que a seção transversal retangular utilizada no cálculo do esforço resistente possui relação de lados inferior ou igual a cinco, prevalecendo no caso de seções compostas, as dimensões de cada ramo distinto;

2.6.3- *Cinta* — elemento construtivo estrutural apoiado continuamente na parede, ligado ou não às lajes ou às vergas das aberturas e que transmite cargas para as paredes resistentes, tendo função de amarração;

2.6.4- *Verga* — elemento estrutural colocado sobre vão de abertura geralmente não maior que 1,20 m, com a finalidade de transmitir cargas verticais para os trechos de parede adjacentes ao vão;

2.6.5- *Contraverga* — elemento estrutural colocado sob o vão de abertura com a finalidade de absorver eventuais tensões de tração;

2.6.6- *Viga* — elemento estrutural linear sobre vão geralmente maior que 1,20 m, dimensionado para suportar cargas verticais, transmitindo-as para paredes ou pilares;

2.6.7- *Enrijecedor* — elemento estrutural vinculado a uma parede resistente, objetivando o enrijecimento horizontal na direção perpendicular a mesma;

2.6.8- *Diafragma* (laje) — elemento estrutural laminar trabalhando como chapa em seu plano e que, quando horizontal e convenientemente ligado às paredes resistentes, tem a finalidade de transmitir esforços de seu plano médio às paredes.

### 3. Vantagens da Alvenaria Estrutural

No campo das edificações no Brasil pode-se estabelecer duas formas básicas de construir: pelo **Sistema Convencional**, empregando estruturas reticuladas de concreto armado moldadas “in loco”, e pelos **Sistemas Industrializados**, norteados pela pré-fabricação dos seus elementos ou execução “in loco”, mas de forma mecanizada e racionalizada.

Entre os processos de construção industrializada pode-se citar: os que produzem todas as peças da estrutura reticulada, em concreto armado ou protendido, em usinas de pré-fabricados, para posterior montagem no local da obra; os que utilizam formas metálicas tipo túnel, com concretagem simultânea de paredes e lajes na obra; os sistemas totalmente industrializados que “depositam” no local da obra módulos totalmente acabados, com aberturas, vidros, etc.; as estruturas metálicas, utilizando perfis de aço montados no local e outros processos ditos inovadores, muitos deles apresentando, no entanto, sérios problemas patológicos e mesmo inadequação ao uso habitacional. Alguns destes sistemas foram importados sem a devida adaptação à realidade brasileira.

A alvenaria estrutural se situa entre os sistemas industrializados, uma vez que o componente básico de seus elementos estruturais, o bloco ou o tijolo, é uma peça modular, feita em usina ou indústria cerâmica e o sistema construtivo é racionalizado.

A seguir, procurar-se-á estabelecer algumas diferenciações apenas entre a Alvenaria Estrutural (AE) e as edificações com Estruturas de Concreto Armado Convencionais (CA), por serem estas largamente utilizadas no país e, também, por serem sistemas cujos custos independem da escala de produção, além de serem mais econômicos em relação aos sistemas que utilizam a pré-fabricação, principalmente quando não há carência de mão-de-obra ou condições climáticas muito adversas. Serão evidenciadas as vantagens da alvenaria estrutural, que para prédios até cinco pavimentos, principalmente, tem sido largamente empregada em diversos estados do país com sucesso.

### **3.1- Paredes**

Nos prédios de CA as paredes desenvolvem apenas a função de vedação, carregando assim a estrutura reticulada com o seu peso próprio, a qual será tanto mais robusta quanto maior for a densidade dos componentes de vedação para garantir, em princípio, melhor performance acústica.

Na AE as paredes desempenham, simultaneamente, as funções de vedação e de estrutura, absorvendo as cargas permanentes e acidentais, tendo melhoria acústica, em geral, como consequência das unidades mais resistentes empregadas. As paredes na AE servem ainda de alojamento para os dutos elétricos.

### **3.2- Fundações**

As cargas das lajes nas estruturas de concreto armado são conduzidas para as vigas, as quais transferem os esforços daí originados, somados aos dos seus carregamentos específicos (paredes de vedação e eventuais reações de vigas secundárias), para os pilares e, por fim, de forma pontual para as fundações. Assim, as cargas distribuídas e concentradas dos prédios comuns acabam, no caso de fundações em sapatas, por se distribuírem em pequenas superfícies, originando no solo tensões relativamente elevadas.

Já nas estruturas em alvenaria estrutural as paredes, por serem resistentes, absorvem os esforços e assim todas as cargas acabam por se distribuírem em superfícies maiores, sapatas corridas ao longo de todo o perímetro das paredes resistentes, resultando em baixas tensões no solo.

No caso de fundação em estacas, as seções das vigas baldrame na AE resultam bastante reduzidas, face ao aproveitamento da rigidez da parede que é resistente (efeito arco).

Outro aspecto a considerar é que a perfeição dimensional das unidades da alvenaria estrutural pode proporcionar um alívio de até 25% nas fundações diretas, fruto da inexistência do “entulho de revestimento”, ou até da inexistência do próprio revestimento, e da distribuição, em geral regular, de cargas na base da construção.

### **3.3- Fôrmas**

Normalmente, não há uma perfeita coincidência entre espessuras de vigas e pilares de CA, gerando recortes nas formas, os quais as tornam onerosas, principalmente se houver reduções de dimensões das seções dos pilares nos andares superiores. Em algumas situações as formas nas estruturas de CA são complexas e sempre caras, face ao limitado reaproveitamento.

Na alvenaria estrutural as formas podem inexistir, dispensando-se totalmente o uso da madeira, a não ser quando a opção é pela execução de lajes moldadas “in loco” (ou algum outro detalhe especial). E mesmo neste caso há um ganho da redução do escoramento, pelo aproveitamento das paredes como apoio parcial das formas. Numa obra comum de concreto armado a madeira corresponde a quase 50 % do preço do concreto empregado, ou seja, cerca de 12 % do custo total.

### **3.4- Armadura**

É inerente às estruturas de concreto armado a existência de armaduras “trabalhadas” e em grande quantidade. Já na AE as armaduras podem até inexistir (apenas construtivas e de amarração) e quando necessárias são retas, sem ganchos ou dobras, na sua grande maioria. Ao contrário do que pode ocorrer no CA, as armaduras na AE são bem protegidas

da corrosão. Por outro lado, o consumo de aço, mesmo na alvenaria estrutural armada, é inferior ao do CA para obras correntes.

### **3.5-Etapas e Tempos**

As fases de execução de uma obra em CA convencional são bem diferenciadas entre si e, obrigatoriamente, sequenciais: execução de formas, colocação das armaduras, concretagem, retirada das formas, alvenaria de vedação e instalações, usualmente com rasgos indiscriminados nas paredes.

Na AE, pela simultaneidade das etapas, ocorre uma economia de tempo que pode chegar a 50%, na execução até as instalações básicas, acelerando o cronograma da obra e consequentemente diminuindo os encargos financeiros.

### **3.6- Mão-de-Obra**

As estruturas de CA exigem mão-de-obra bastante especializada: pedreiro, carpinteiro, eletricista, encanador, armador, apontador, além de servente e ajudante especial. Já na AE este elenco é bem mais reduzido pela simultaneidade das etapas de execução, a qual induz à polivalência do operário através de relativamente fácil treinamento. Assim, na medida que o pedreiro executa a alvenaria, ele próprio, por exemplo, pode colocar a ferragem e eletrodutos nos vazados dos blocos, podendo ainda deixar instaladas peças pré-moldadas como vergas, peitoris, marcos, etc..

### **3.7- Racionalização**

Enquanto no CA a racionalização exige uma certa “sofisticação” para ser implantada, na AE ela é simples, favorecida, principalmente, pela coordenação modular do projeto.

### **3.8-Revestimentos**

A elevada precisão dimensional das unidades de alvenaria estrutural resultam em economia de revestimento. Em alguns casos, chapisco e emboço podem ser dispensados sem prejudicar a uniformidade de espessura do reboco.

Já nas obras de CA as alvenarias de vedação são executadas com blocos ou tijolos comuns, os quais, em geral, deixam muito a desejar em termos de precisão de dimensões, onerando bastante o revestimento em pelo menos uma das faces da parede.

As espessuras adicionais para regularização dos revestimentos é da ordem de 7% do custo da obra convencional não racionalizada.

Por outro lado, a inexistência de recortes na AE resulta, também, em economia nas áreas revestidas com azulejo.

### **3.9- Entulho**

A madeira utilizada nas formas das estruturas convencionais de CA e os tijolos ou blocos de dimensões pouco precisas e baixa resistência, empregados para vedação de vãos estruturais não coordenados modularmente, são itens de acentuado peso na composição final do entulho deste tipo de obra.

Alguns estudos mostram que numa obra convencional entra 1,8 t/m<sup>2</sup> de material e fica apenas 1,2 t/m<sup>2</sup>, ou seja, 0,6 t/m<sup>2</sup> é entulho que sai. Já nas obras racionalizadas entra 1,0

t/m<sup>2</sup> e fica 0,8 t/m<sup>2</sup> , reduzindo assim em 67% o material não aproveitável a ser retirado. E a retirada da cada caminhão de entulho (6 m<sup>3</sup>) de uma obra pode equivaler ao custo de uma ou mais semana de pedreiro.

### 3.10- Integração de Projetos

A alvenaria estrutural, como sistema de construção racionalizado, exige do projetista da estrutura uma integração bem maior com os projetos de arquitetura e instalações do que no caso dos projetos de estruturas convencionais de CA, até pelo fato da dupla função das paredes. Assim, esta coordenação já deve existir na fase do anteprojeto arquitetônico. Isto é uma condição bastante favorável para evitar dissabores, tão comuns nas obras convencionais, pelo “desencontro” de projetos. Nada impede, entretanto, que um determinado projeto arquitetônico, já pronto, possa ser adaptado para alvenaria estrutural.

## 4. Outras Considerações

Procurou-se, acima, salientar algumas vantagens da AE em relação às obras estruturadas em CA,. Mas como qualquer sistema construtivo, é claro, a AE tem suas limitações:

Enquanto nas estruturas de concreto armado existe uma grande liberdade de concepção do projeto arquitetônico, na alvenaria estrutural o horizonte do projetista é mais restrito, dentro da concepção racional do uso da parede resistente (superposição das paredes).

Por outro lado, uma parede definida resistente não pode ser remanejada posteriormente pelo usuário, enquanto no CA a liberdade de remoção é total. Na AE, entretanto, nem todas as paredes são, necessariamente, previstas como *resistentes* e, assim, podem ser removidas as de *vedação*.

Relativamente a recalques diferenciais, sabe-se que as estruturas em CA, pela sua alta hiperestaticidade, redistribui sem grandes deformações as cargas provenientes deste agente. O mesmo não ocorre nas obras de alvenaria estrutural *não armada*, podendo ocorrer, neste caso, deformações inaceitáveis, originando fissuração na alvenaria. Agora, se a alvenaria for armada, ou possuir corretas armaduras construtivas, conferindo solidariedade ao conjunto, a transferência de cargas ocorrerá plenamente e a estrutura apresentará excelente desempenho. Recalques diferenciais da ordem de 0,25% do vão considerado, são aceitáveis neste tipo de alvenaria, face a sua grande rigidez.

Concluindo, pode-se dizer, pelas características expostas, que nos itens *Estrutura, Alvenaria e Revestimento*, os Processos em Alvenaria Estrutural podem se tornar de 35 a 60% mais baratos do que aqueles convencionais que empregam Estruturas Reticuladas de Concreto Armado.

Engenheiro Odilon Pancaro Cavalheiro  
Professor Titular de Alvenaria Estrutural no curso de graduação de engenharia civil da Universidade Federal de Santa Maria. Coordenador do Grupo de Pesquisa e Desenvolvimento em Alvenaria Estrutural (GPDAE).

UFSM - CT - LMCC : 97105-900 Santa Maria RS  
Fone: 55 220 8313 Fax: 55 220 8608  
E-mail: odilonpc@ct.ufsm.br