

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Diani Rizzetti Sopelsa

**ANÁLISE DE CONSTRUÇÕES COM PAREDES DE VEDAÇÃO SERVINDO DE
APOIO DIRETO DAS VIGAS**

Santa Cruz do Sul

2012

Diani Rizzetti Sopelsa

**ANÁLISE DE CONSTRUÇÕES COM PAREDES DE VEDAÇÃO SERVINDO DE
APOIO DIRETO DAS VIGAS**

Trabalho de conclusão apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade de Santa Cruz do Sul para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. M.Sc Marcus Daniel F. dos Santos

Santa Cruz do Sul

2012

Diani Rizzetti Sopelsa

**ANÁLISE DE CONSTRUÇÕES COM PAREDES DE VEDAÇÃO SERVINDO DE
APOIO DIRETO DAS VIGAS**

Este trabalho de conclusão foi submetido ao curso de Engenharia Civil da Universidade de Santa Cruz do Sul, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

M.Sc Marcus Daniel F. dos Santos
Professor Orientador –UNISC

M. Sc Marco Antonio Pozzobon
Professor examinador – UNISC

Santa Cruz do Sul
2012

AGRADECIMENTOS

Agradeço aqui a todas as pessoas que estiveram do meu lado, durante a jornada da graduação, em especial aos meus pais Aldemio e Ivanir, ao meu irmão Luis Eduardo e meu marido Andrei por cada momento de incentivo, preocupação, dedicação e compreensão.

Minha gratidão a todos que contribuíram com minha formação acadêmica e profissional: professores, engenheiros, colegas, e profissionais da construção civil, em especial ao professor orientador Marcus Daniel, que com muita paciência e atenção, dedicou seu tempo para me orientar e para transmitir sua sabedoria.

Chegando ao fim dessa jornada, sinto que tudo valeu a pena, cada momento, cada dificuldade, cada questionamento, cada amizade e cada conhecimento agregado.

As pessoas que vencem neste mundo são as que procuram as circunstâncias de que precisam e, quando não as encontram, as criam.

(George Bernard Shaw)

RESUMO

Neste trabalho é abordado uma prática inadequada de execução de construções em concreto armado, quando não há encunhamento entre a alvenaria de vedação e a estrutura, servindo assim a parede como apoio das vigas. Em edificações que utilizam este tipo de sistema construtivo as paredes são elevadas anteriormente a estrutura. Sendo assim não são necessários fundos das formas das vigas e nem escoras, pois a parede assume esta função. A abordagem desse tema foi impulsionada pela verificação da ocorrência de execução de obras com este sistema construtivo. Foram realizadas pesquisa e análise nas especificações das normas técnicas brasileiras relacionadas tanto a execução, como cálculo e materiais de concreto armado, alvenarias de vedação e alvenaria estrutural, para verificar se o sistema construtivo em questão atende estas especificações. Buscando verificar a ocorrência deste sistema construtivo na região, foram visitadas obras que o aplicam. As visitas também foram utilizadas para se tomar maior conhecimento do sistema e assim poder descrevê-lo. Por fim foi realizada uma análise do sistema, traçando um comparativo com o que é executado nas obras visitadas e o que é recomendado por norma. Com isso concluiu-se que este sistema não atende o que está especificado pelas normas da ABNT, e que também pode trazer problemas e riscos as edificações.

Palavras-chaves: estruturas; concreto armado; alvenaria; encunhamento.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Encunhamento com cunhas de concreto	23
Figura 2 - Detalhe do encunhamento com cunhas de concreto	23
Figura 3 - Encunhamento com tijolos maciços inclinados	24
Figura 4- Detalhe encunhamento com tijolos maciços inclinados	24
Figura 5- Espaço entre a alvenaria e a estrutura para encunhamento com argamassa expansiva	25
Figura 6 - Encunhamento com argamassa expansiva	25
Figura 7- Viga desformada sem encunhamento com a parede.....	31
Figura 8 - Viga desformada sem encunhamento com a parede.....	32
Figura 9 – Obra no município de Caxias do Sul	41
Figura 10 – Edifício em construção com mais de 8 pavimentos no município de São Leopoldo	42
Figura 11 – Condomínio com mais de duas torres em construção em São Leopoldo	42
Figura 12 – Edifício no município de Passo Fundo com mais de 13 pavimentos sendo construído.....	43
Figura 13 – Edifício em construção em Santa Maria.....	43
Figura 14 - Vista da obra visitada.....	44
Figura 15 – Bloco de 6 furos de vedação utilizado no empreendimento	46
Figura 16 - Central de produção da argamassa	47
Figura 17 - Estoque de areia na obra.....	47
Figura 18 - Cimento e cal armazenados na obra	48
Figura 19 - Baldes para dosagem do cimento.....	48
Figura 20 - Paredes sem padronização de execução	49
Figura 21 - Desalinhamento do encontro das paredes e blocos quebrados	50
Figura 22 - Blocos nos topos das paredes quebrados e fiadas desalinhadas.....	50
Figura 23 - Outra parede com blocos quebrados	51
Figura 24 - Paredes com grande variabilidade nas espessuras das juntas	51
Figura 25 - Espaços de juntas sem preenchimento de argamassa.....	52
Figura 26 - Abertura de canaleta onde deveria haver uma verga	52
Figura 27 – Viga com pedaços de madeira prejudicando sua geometria.....	53
Figura 28 - Alvenaria mal executada e com quebra na lateral da janela.....	53

Figura 29 - Cantos de blocos quebrados	54
Figura 30 - Vãos de aberturas maiores que os contramarcos.....	54
Figura 31 - Vista da obra visitada.....	55
Figura 32 – Bloco cerâmico 9 furos de vedação utilizado no empreendimento.....	57
Figura 33 – Alvenaria com assentamento não uniforme	58
Figura 34 – Alvenaria com assentamento não uniforme	59
Figura 35 – Primeira fiada de alvenaria.....	61
Figura 36 - Parede erguida até a altura de 1,40 metros com esperas para a construção dos pilares	61
Figura 37 – Alvenaria sendo construída já com as armaduras dos pilares concluídas	62
Figura 38 - Espessura da junta de assentamento horizontal	63
Figura 39 - Espessura da junta de assentamento horizontal	63
Figura 40 - Espessura da junta de assentamento vertical.....	64
Figura 41 - Espessura da junta de assentamento vertical.....	64
Figura 42 - Forma do pilar com os painéis laterais e ferragens erguida até a altura da alvenaria.....	65
Figura 43 - A esquerda, um pilar concretado até a altura de 1,40 metros e a direita, um espaço para um pilar com esperas de ancoragem.....	66
Figura 44 – Pilar com marcas de emendas de concretagem, mais ou menos a altura de 1,40 metros	66
Figura 45 – Pilares construídos anteriormente à alvenaria	67
Figura 46 - Formas laterais das vigas construídas logo após a desforma dos pilares	68
Figura 47 – Viga com as formas e armadura montadas.....	69
Figura 48 – Laje treliçada montada	69
Figura 49 - Formas laterais das vigas e a laje treliçada concretadas.....	70
Figura 50 - Viga desformada e laje com as escoras retiradas.....	71
Figura 51 - Verga de uma porta	72
Figura 52 - Verga com espessura de 2,0 cm.....	72
Figura 53 - Rasgos horizontais e verticais na alvenaria de vedação para instalações elétricas	73

Figura 54 - Rasgos horizontais e verticais na alvenaria de vedação para instalações hidrossanitárias	74
Figura 55 - Parede com canaletas abertas no sentido horizontal e vertical para instalações elétricas e hidráulicas	74

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resistência à compressão (f_b)	22
Quadro 2 – Requisitos para resistência característica à compressão de blocos de concreto	29
Quadro 3 – Limites para deslocamentos	38

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
a.C.	Antes de Cristo
CREA-RJ	Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio de Janeiro
d.C	Depois de Cristo
ELS-CE	Estado limite de compressão excessiva
ELS-D	Estado limite de descompressão
ELS-DEF	Estado limite de deformações excessivas
ELS-DP	Estado limite de descompressão parcial
ELS-F	Estado limite de formação de fissuras
ELS-VE	Estado limite de vibrações excessivas
ELS-W	Estado limite de aberturas das fissuras
fb	Resistência à compressão do bloco
fbk	Resistência à compressão característica dos blocos
m	Metro
m ²	Metro quadrado
m ³	Metro cúbico
mm	Milímetro
MPa	Mega pascal
NBR	Norma Brasileira

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Justificativa	13
1.2	Objetivos	14
1.3	Objetivo geral	14
1.3.1	Objetivos específicos	15
1.4	Delimitações	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	Concreto armado	16
2.1.1	Breve histórico	16
2.1.2	Sistema construtivo em concreto armado	17
2.1.3	Projeto de estruturas de concreto armado	19
2.2	Alvenaria de vedação	21
2.3	Alvenaria Estrutural	27
2.3.1	Breve histórico	27
2.3.2	Sistema construtivo em alvenaria estrutural	28
2.4	Sistema construtivo com paredes de vedação servindo de apoio das vigas	31
3	METODOLOGIA	35
4	PESQUISA NAS NORMAS TÉCNICAS BRASILEIRAS	37
5	OCORRÊNCIA DE OBRAS NA REGIÃO	41
6	CARACTERIZAÇÃO DAS OBRAS VISITADAS	44
6.1	Obra 1	44
6.1.1	Descrição dos materiais	45
6.1.2	Desconformidades nas alvenarias de vedação	49
6.2	Obra 2	55
6.2.1	Descrição dos materiais	56
6.2.2	Desconformidades na execução	58

7	DESCRIÇÃO DO SISTEMA CONSTRUTIVO	60
7.1	Execução da alvenaria de vedação	60
7.2	Execução dos pilares	65
7.3	Execução das vigas e lajes	68
7.4	Verga e contraverga	71
7.5	Execução das instalações hidrossanitárias e elétricas	72
8	ANÁLISE DO SISTEMA	75
	CONCLUSÃO	79
	BIBLIOGRAFIA	81

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como base o colapso do Edifício Liberdade, sendo que será analisada a forma de construção do mesmo, quando a estrutura é de concreto armado com paredes de vedação, mas não há encunhamento entre os elementos, sendo assim as paredes de vedação servem de apoio das vigas.

1.1 Justificativa

O desabamento do Edifício Liberdade que ocorreu no dia 25 de fevereiro de 2012 no centro da cidade do Rio de Janeiro, vindo a causar o desabamento de mais duas edificações intrigaram a comunidade brasileira. Sua construção aconteceu há cerca de 70 anos, tendo como estrutura a técnica construtiva de concreto armado, a mais utilizada nas edificações brasileiras (CARVALHO, 2012).

A possível causa do desabamento está ligada à reforma no 9º andar do prédio, quando a maioria das paredes foram removidas, sendo informado pelos funcionários que em algumas dessas paredes, os vergalhões, que ligavam as paredes às lajes superior e inferior, foram cortados e lixados (TAMAKI, 2012).

Mas há contradições quanto a esta afirmação: pois o responsável pela empresa declarou que as paredes não eram estruturais, servindo apenas como vedação e divisórias de ambientes (RITTO, 2012).

Outros especialistas concluíram que o prédio já deveria apresentar problemas estruturais antes da reforma do andar e que por isso mesmo as paredes tendo a função apenas de vedação acabaram por ajudar na sustentação do prédio (CARVALHO, 2012).

Outra possibilidade é a de que possivelmente havia no 9º andar uma estrutura de transição, ou seja, acredita-se que havia pilares na fachada que nasciam em cima de vigas com paredes que faziam a transição, e estas paredes foram derrubadas. Pois o modo como ocorreu o desabamento, com a ruptura de uma só vez e sem aviso indica esmagamento do concreto, e isso acontece quando pelo

menos uma parte dele é quebrada, sobrecarregando-os e os demais elementos (TAMAKI, 2012).

Em depoimento, uma pessoa que estava em um prédio em frente ao edifício Liberdade, afirmou ter visto, momentos antes do prédio ruir, a queda de parte de uma parede da fachada que ficava a mais ou menos a altura do 9º ou 10º andar do prédio (LAPA, 2012).

A reforma não tinha engenheiro responsável e não estava registrada junto ao Crea-RJ, sendo que o projeto foi desenvolvido por uma funcionária formada em administração e com um curso de auxiliar de confecção de plantas. A mesma funcionária também foi a responsável, segundo informações de funcionários que trabalhavam na obra, pela ordem de transformar o andar em vão livre (RITTO, 2012).

Tendo conhecimento dessas informações, podemos evidenciar uma indefinição quanto à função das paredes: estruturais ou de vedação. Isso nos leva a constatação de que pode ter sido executado no prédio uma mistura de dois sistemas estruturais: concreto armado e alvenaria estrutural, onde o edifício é construído com as paredes de vedação servindo de apoio das vigas sem fundos de formas para concretagem e sem encunhamento, formando um conjunto monolítico.

Neste trabalho será abordado essa prática construtiva, pois sabemos que ela ainda é utilizada no Brasil, com a constatação de diversas obras no Rio Grande do Sul e que como vimos, pode trazer sérios problemas aos usuários.

1.2 Objetivos

1.3 Objetivo geral

O objetivo principal deste trabalho é abordar a prática inadequada de execução de construções em concreto armado, concomitantemente a alvenaria de vedação, onde não há espaço para encunhamento, pelo fato de as paredes servirem de apoio para as vigas.

1.3.1 Objetivos específicos

Realizar pesquisa e análise de especificações de Normas Técnicas Brasileiras do sistema de concreto armado e alvenaria estrutural.

Realizar visitas a obras da região com este sistema construtivo para realizar sua descrição.

Listar e comentar os pontos positivos e negativos deste sistema.

Analisar riscos estruturais desta forma de construção, tendo como base a queda do Edifício Liberdade no Rio de Janeiro.

1.4 Delimitações

Este trabalho delimita-se em desenvolver análise de edificações com paredes de vedações interagindo com estruturas de concreto armado, quando as vigas são apoiadas diretamente nas paredes sem o encunhamento tradicional entre a alvenaria/estrutura.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Serão abordados os dois sistemas construtivos conhecidos e convencionais na construção civil: concreto armado e alvenaria estrutural, e, além disso, será tratado do sistema construtivo em questão, quando as paredes de vedação servem de apoio das vigas.

Será definido os termos técnica, método, processo e sistema construtivo, para esclarecer seus significados e evitar o uso inadequado dos mesmos.

Segundo Sabbatini (1989), citado por Arcari (2010), tem-se as seguintes definições:

a) técnica construtiva: conjunto de operações empregadas por um particular ofício para produzir parte de uma edificação;

b) método construtivo: conjunto de técnicas construtivas interdependentes e adequadamente organizadas, empregadas na construção de uma parte (subsistema ou elemento) de uma edificação;

c) processo construtivo: é um organizado e bem definido modo de se produzir um edifício. Um específico processo construtivo se caracteriza pelo seu particular conjunto de métodos utilizado na construção da estrutura e vedações do edifício;

d) sistema construtivo: é um processo construtivo de elevados níveis de organização, constituído por um conjunto de elementos e componentes interrelacionados e completamente integrados pelo processo.

2.1 Concreto armado

2.1.1 Breve histórico

Podemos considerar a utilização do concreto armado na construção civil como recente, pois as primeiras peças surgiram há pouco mais de 150 anos. Antes disso nas construções eram utilizadas pedra, madeira e ligas metálicas (CLÍMACO, 2008).

Os primeiros elementos de construção, vigotas e pequenas lajes foram construídas em 1852 por Coignet na França (CLÍMACO, 2008).

Em 1873 foi construída uma casa de concreto armado pelo americano W. E. Ward em Nova York, existente até os dias de hoje (CARVALHO, 2009).

Segundo Helene (2010), citado por Arcari (2010) o primeiro edifício totalmente estruturado em concreto armado com pilares, vigas e lajes foi projetado por François Hennebique e inaugurado em 1901 com 7 andares.

No Brasil o concreto armado difundiu-se rapidamente no início do século XX. Em 1908 foi concluído o Edifício A Noite no Rio de Janeiro, que durante muitos anos foi record mundial em altura de edifícios com estrutura de concreto armado (CLÍMACO, 2008).

Durante a construção de Brasília de 1955 a 1960, foram contempladas estruturas extremamente arrojadas e esbeltas de concreto armado, com projeto arquitetônico de Oscar Niemeyer e Lúcio Costa, entre outros, e projeto estrutural do engenheiro Joaquim Cardozo (CLÍMACO, 2008).

2.1.2 Sistema construtivo em concreto armado

Conforme Azeredo (1997) denomina-se concreto armado “à associação do aço ao concreto, com a finalidade de melhorar a resistência desse a determinados tipos de esforços”. O concreto é um conglomerado composto por cimento Portland, agregado miúdo, agregado graúdo e água, sendo atualmente o segundo material mais consumido pelo homem, superado apenas pela água (GRAZIANO, 2005).

Os esforços de compressão são contidos pelo concreto e esforços de tração são absorvidos pelo aço (BORGES, 2007). Essas características são possíveis graças aos seguintes propriedades: à boa aderência entre ambos os materiais; à quase igualdade dos respectivos coeficientes de dilatação térmica e à proteção do aço contra a corrosão, quando este estiver envolvido pelo concreto (AZEREDO, 1997).

O concreto é empregado no estado plástico e com o passar do tempo endurece, adquirindo propriedades de resistência. Se bem tratado seu endurecimento continua durante muito tempo, mesmo após ter adquirido a resistência suficiente para obra. Já o aço utilizado nas estruturas de concreto deve

apresentar suficiente homogeneidade, quanto às características geométricas e ser isento de defeitos, como bolhas, fissuras, esfoliações e corrosão (AZEREDO, 1997).

A estrutura é definida “como o conjunto das partes consideradas resistentes de uma edificação. Para que uma estrutura tenha sua capacidade resistente assegurada, é necessário conhecer o comportamento de suas peças ou elementos estruturais” (CLÍMACO, 2008).

Conforme a NBR 6118 (2007), “as estruturas podem ser idealizadas como a composição de elementos básicos, classificados e definidos de acordo com sua forma geométrica e a sua função estrutural”.

Em Guerrin(1987) tem-se uma definição da funcionalidade da estrutura de concreto armado :

A função da estrutura é uma função de resistência. Ela deve assegurar a estabilidade do conjunto solicitado por duas naturezas de esforços:

-Esforços verticais: peso próprio da construção, processo para construções em estruturas em aço se destaca, pois o aço tem uma maior resistência mecânica se comparada a outros materiais. É um dos processos e sobrecargas de exploração, que comprimem o pavimento; laje, nervuras, vigas, pilares, são finalmente transmitido ao solo por intermédio da fundação.

-Os esforços horizontais: devido ao vento e aos sismos.

Classifica-se os elementos estruturais em elementos lineares e elementos de superfície.

Segundo a NBR 6118 (2007) os elementos lineares “são aqueles em que o comprimento longitudinal supera em pelo menos três vezes maior dimensão da seção transversal, sendo também denominadas barras”. Dentro dos elementos lineares, há uma designação para cada tipo de peça conforme sua função e geometria, sendo assim temos as vigas, que são elementos lineares dispostos na horizontal, que recebem basicamente esforços de flexão. Já os pilares são elementos lineares de eixo reto, dispostos na vertical, nos quais os esforços predominantes são de compressão, advindos do peso próprio da estrutura além de outras cargas. Os tirantes são elementos lineares de eixo reto com forças predominantes de tração. E arcos são elementos lineares curvos com predominância das forças normais de compressão.

Já os elementos de superfície, são aqueles “elementos em que uma dimensão, usualmente chamada de espessura, é relativamente pequena em face das demais” (NBR 6118, 2007). Esses elementos podem ser classificados como:

- Placas: Elementos de superfície plana sujeitos principalmente a ações normais ao seu plano. As placas de concreto são usualmente denominadas lajes.
- Chapas: Elementos de superfície plana sujeitos principalmente a ações contidas em seu plano. Chapas de concreto em que o vão for menor que três vezes a maior dimensão da seção transversal são usualmente denominadas vigas parede.
- Casca: elementos de superfície não plana.
- Pilares parede: elementos de superfície plana ou casca cilíndrica, usualmente dispostos na vertical e submetidos preponderantemente à compressão. Para que se tenha um pilar parede, em alguma dessas superfícies, a menor dimensão deve ser menor que 1/5 da maior, ambas consideradas na seção transversal da peça. (CLÍMACO, 2008)

Para a moldagem das estruturas de concreto armado é utilizado o sistema de fôrmas, este que é composto pelas fôrmas, escoramento, cimbramento e os andaimes. Sua função é suportar as cargas da edificação, cargas acidentais durante a construção, e manter as dimensões das peças até que o concreto atinja a resistência especificada em projeto (NBR 6118, 2007).

Segundo a NBR 14931 (2004) o escoramento “deve ser projetado de modo a não sofrer, sob a ação de seu próprio peso, do peso da estrutura e das cargas acidentais que possam atuar durante a execução da estrutura de concreto, deformações prejudiciais ao formato da estrutura ou que possam causar esforços não previstos no concreto”. Referente às fôrmas, a mesma norma diz que “elas devem se adaptar ao formato e às dimensões das peças da estrutura projetada”.

2.1.3 Projeto de estruturas de concreto armado

Segundo Clímaco (2008), o projeto estrutural de um edifício consiste em:

Conceber um sistema cujos elementos com finalidade resistente se combinam, de forma ordenada, para cumprir uma determinada função, que pode ser: vencer um vão, como nas pontes, definir um espaço, como nos diversos tipos de edifícios, ou conter um empuxo, como nas paredes de contenção, tanques e silos.

Em um projeto estrutural realiza-se a análise estrutural, esta que tem como intuito “determinar os efeitos das ações em uma estrutura, com a finalidade de efetuar verificações de estados limites últimos e de serviço. A análise estrutural permite estabelecer as distribuições de esforços internos, tensões, deformações e deslocamentos, em uma parte ou em toda a estrutura” (NBR 6118, 2007).

Para o cálculo estrutural em concreto armado basicamente existem dois grupos de cálculo: os métodos clássicos (tensões admissíveis), e os métodos de cálculo na ruptura (estados-limites) (CARVALHO, 2009).

Nos métodos clássicos calcula-se as tensões máximas de serviço (advindas das máximas solicitações), e considera-se um comportamento completamente elástico dos materiais, com isso o que delimita as tensões máximas admissíveis é a resistência dos materiais e garante-se a segurança da estrutura (CARVALHO, 2009).

Já no método de cálculo na ruptura o que garante a segurança na estrutura é garantir que “as solicitações correspondentes às cargas majoradas (solicitações de cálculo) sejam menores que as solicitações últimas, sendo estas as que levariam a estrutura à ruptura (ou atingir um estado-limite último) se os materiais tivessem suas resistências reais (resistências características) minoradas por coeficientes de ponderação das resistências (resistências de cálculo)” (CARVALHO, 2009).

O estado limite último está relacionado “ao colapso, ou a qualquer outra forma de ruína estrutural, que determine a paralisação do uso da estrutura” (NBR 6118, 2007).

A NBR 6118 (2007) descreve os estados limites últimos a que uma estrutura de concreto armado deve ser verificada, para que se garanta a segurança da mesma.

Estes são:

- a) estado limite último da perda do equilíbrio da estrutura, admitida como corpo rígido;
- b) estado limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, no seu todo ou em parte, devido às solicitações normais e tangenciais, admitindo-se a redistribuição de esforços internos, desde que seja respeitada a capacidade de adaptação plástica definida na seção 14, e admitindo-se, em geral, as verificações separadas das solicitações normais e tangenciais; todavia, quando a interação entre elas for importante, ela estará explicitamente indicada nesta Norma;
- c) estado limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, no seu todo ou em parte, considerando os efeitos de segunda ordem;
- d) estado limite último provocado por solicitações dinâmicas;

- e) estado limite último de colapso progressivo;
- f) outros estados limites últimos que eventualmente possam ocorrer em casos especiais.

“Estados limites de serviço são aqueles relacionados à durabilidade das estruturas, aparência, conforto do usuário e a boa utilização funcional das mesmas, seja em relação aos usuários, seja em relação às máquinas e aos equipamentos utilizados” (NBR 6118, 2007).

Alguns estados limites de serviço estão citados a seguir:

- estado limite de formação de fissuras (ELS-F): Estado em que se inicia a formação de fissuras.
- estado limite de abertura das fissuras (ELS-W): Estado em que as fissuras se apresentam com aberturas iguais aos máximos especificados.
- estado limite de deformações excessivas (ELS-DEF): Estado em que as deformações atingem os limites estabelecidos para a utilização normal.
- estado limite de descompressão (ELS-D): Estado no qual em um ou mais pontos da seção transversal a tensão normal é nula, não havendo tração no restante da seção.
- estado limite de descompressão parcial (ELS-DP): Estado no qual garante-se a compressão na seção transversal, na região onde existem armaduras ativas.
- estado limite de compressão excessiva (ELS-CE): Estado em que as tensões de compressão atingem o limite convencional estabelecido. Usual no caso do concreto protendido na ocasião da aplicação da protensão.
- estado limite de vibrações excessivas (ELS-VE): Estado em que as vibrações atingem os limites estabelecidos para a utilização normal da construção. (NBR 6118, 2007).

Considera-se segura no que tange a engenharia de estruturas uma construção que ao longo de sua vida útil consiga manter suas características originais de projeto sem um custo excessivo de manutenção, que não tenha aparência que cause mal-estar ou alarmes sobre a segurança de suas peças, e que no caso de ser utilizada não para o fim a que foi projetada dê avisos de eventuais perigos (CLÍMACO, 2008).

2.2 Alvenaria de vedação

A alvenaria, quando aplicada juntamente com estrutura tradicional de concreto armado, tem sua função restrita apenas para o fechamento de vãos e então é chamada de alvenaria de vedação, sendo dimensionada para resistir apenas ao seu peso próprio. Sendo que a alvenaria é a união entre blocos ou tijolos por

juntas de argamassa, formando um conjunto rígido e coeso (LORDSLEEM JUNIOR, 2001).

Conforme a NBR 15270-1 (2005), a característica mecânica dos blocos de vedação é a resistência à compressão, calculada na área bruta, e deve atender aos valores mínimos indicados no quadro 1.

Quadro 1 – Resistência à compressão (f_b)

Posição dos furos	f_b MPa
Para blocos usados com furos na horizontal	$\geq 1,5$
Para blocos usados com furos na vertical	$\geq 3,0$

Fonte: NBR 15270-1/2005

Recomenda-se que o serviço de alvenaria seja retardado ao máximo, e que este se inicie pelos pavimentos superiores em direção aos inferiores, com preferencialmente toda a estrutura concluída, caso não se atinja essa condição, deve-se ter executada a estrutura de pelo menos dois ou três pavimentos superiores (SOUZA, 1996).

A alvenaria deve ser interrompida abaixo das vigas ou lajes deixando-se um espaço, que servirá como ligação dos elementos entre a alvenaria e componentes da estrutura (vigas ou lajes). Essa ligação é realizada com materiais e distribuições construtivas particulares. A principal funcionalidade da ligação é promover a fixação das alvenarias nas estruturas de forma que estas não sejam solicitadas quando a estrutura for deformada (LORDSLEEM JUNIOR, 2001).

A ligação também é denominada de encunhamento e pode ser executada de duas maneiras: o encunhamento rígido e o encunhamento flexível.

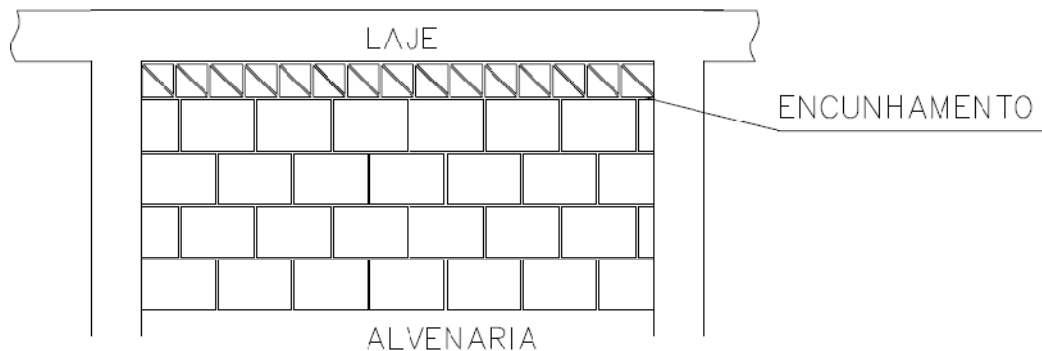
O encunhamento rígido funciona como contraventamento da estrutura, sendo assim as paredes serão submetidas a um estado elevado de tensões transmitidas pela estrutura e a ligação deve ser rígida e efetiva entre elas (LORDSLEEM JUNIOR, 2001).

Segundo Lordsleem Junior (2001) existem três técnicas básicas de ligação:

1. cunhas de concreto pré-fabricadas: permite o maior aperto na alvenaria fazendo com que trabalhe rigidamente ligada à estrutura.

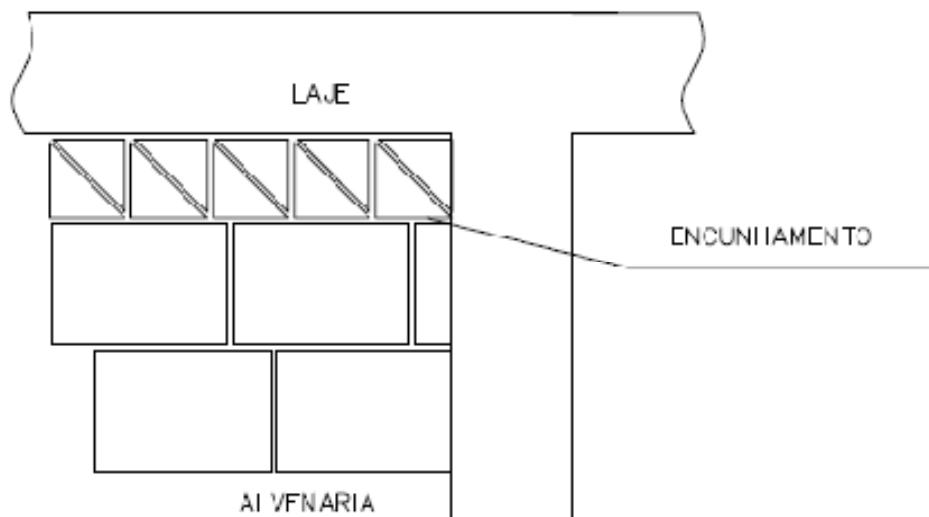
2. encunhamento por meio de tijolos cerâmicos maciços inclinados: possui efeito sobre a alvenaria bastante semelhante ao das cunhas pré-fabricadas de concreto.
3. preenchimento com argamassa expansiva: deve-se deixar uma abertura para fixação de 2 a 3 cm. Essa técnica pode ocasionar pontos com solicitações diferenciadas, com concentrações de tensões que podem trazer problemas à alvenaria.

Figura 1- Encunhamento com cunhas de concreto



Fonte: figura elaborada pelo autor com base em informações da obra de Lordsleem Junior (2001).

Figura 2 - Detalhe do encunhamento com cunhas de concreto



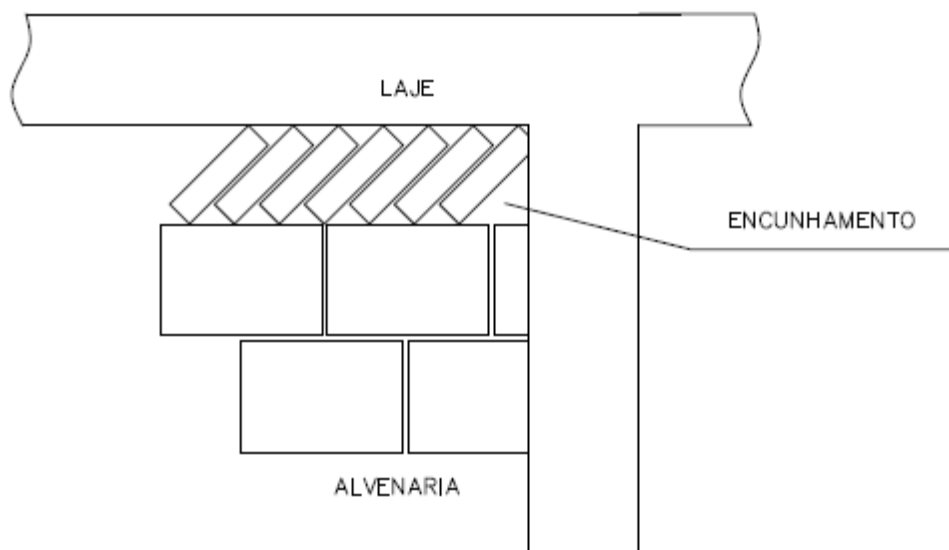
Fonte: figura elaborada pelo autor com base em informações da obra de Lordsleem Junior (2001).

Figura 3 - Encunhamento com tijolos maciços inclinados



Fonte: Diani Rizzetti Sopelsa

Figura 4- Detalhe encunhamento com tijolos maciços inclinados



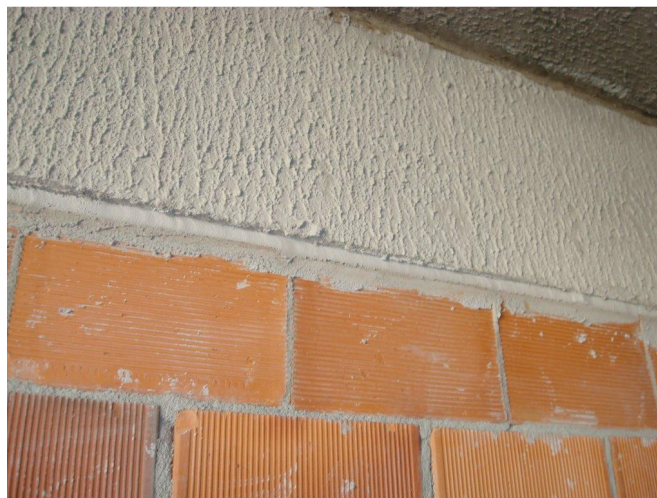
Fonte: figura elaborada pelo autor com base em informações da obra de Lordsleem Junior (2001).

Figura 5- Espaço entre a alvenaria e a estrutura para encunhamento com argamassa expansiva



Fonte: Marcus Daniel F. dos Santos

Figura 6 - Encunhamento com argamassa expansiva



Fonte: Marcus Daniel F. dos Santos

A NBR 8545 (1984) indica que deve-se deixar um espaço aproximado de 8,0 cm para cunhas de concreto pré-fabricadas, 15,0 cm para encunhamento por meio de tijolos cerâmicos e 3,0 cm para preenchimento com argamassa expansiva.

Já o encunhamento flexível acontece quando a estrutura é deformável e a alvenaria não funciona como travamento. Nestes casos a fixação deverá ser executada com um material que tenha elevada capacidade de absorver deformações. Recomendando-se a aplicação de espuma de poliuretano ou aplicação de argamassa rica em cal e com baixo teor de cimento. Ainda podem ser utilizadas argamassas prontas para uso em assentamento aditivadas com polímeros (LORDSLEEM JUNIOR, 2001).

Indica-se o prazo de dez dias entre o término da elevação da alvenaria e a execução da fixação, a fim de evitar a transferência de carga para as paredes de vedação, em nenhum caso a fixação pode ser executada antes que a parede do andar superior esteja construída. O ideal é que a fixação seja executada de cima para baixo após 14 dias da elevação da parede do último pavimento (THOMAZ, 2009).

Podemos citar ainda casos onde a alvenaria não funciona como travamento e a estrutura que a envolve é pouco deformável. Nessas situações o encunhamento pode ser efetuado com a própria argamassa de assentamento (LORDSLEEM JUNIOR, 2001).

Nascimento (200-) diz que com o avanço da tecnologia do concreto deve-se atentar ao projetar alvenarias de vedação, identificando o tipo de estrutura, e tomando-se cuidado as seguintes interferências:

- Deformações imediatas das estruturas;
- Deformações devido a cargas permanentes;
- Deformações lentas;
- Variação da umidade e da temperatura que atinge a estrutura;
- Módulo de elasticidade;
- Análise global das deformações (valores previstos para flecha das estruturas).

2.3 Alvenaria Estrutural

2.3.1 Breve histórico

A alvenaria estrutural é um sistema construtivo muito antigo, tendo sido utilizado desde o início das civilizações. A prova disso podemos citar as Pirâmides de Guizé construídas aproximadamente 2600 a. C com blocos de pedra, medindo 147,0 metros de altura. Ainda como exemplo tem-se o Coliseo, construído por volta ao ano de 70 d. C., com capacidade para 50.000 pessoas (RAMALHO, 2003).

Outra construção importante na história da alvenaria estrutural é o Edifício Monadnock, construído em Chicago de 1889 a 1891. Com 16 pavimentos e 165 m de altura, tornou-se um símbolo da alvenaria estrutural dos tempos de hoje (RAMALHO, 2003).

Registros indicam que o primeiro prédio de alvenaria estrutural no Brasil, tenha sido construído no ano de 1966, em São Paulo, embora haja questionamentos em relação a essa data. Ele possuía apenas quatro pavimentos e foi executado com blocos de concreto. Edifícios com alturas maiores foram construídos também em São Paulo em 1972, sendo um deles o condomínio Central Parque Lapa com 12 pavimentos em alvenaria armada de blocos de concreto (RAMALHO, 2003).

A primeira comissão para a criação de uma norma brasileira para projeto de alvenaria estrutural foi constituída em 1977. Após isso, no final da década de 80 e início da década de 90 as parcerias entre empresas e universidades impulsionaram o uso e a disseminação do sistema construtivo de alvenaria estrutural, permitindo a criação de materiais e equipamentos nacionais para a sua produção (PARSEKIAN, 2010).

Hoje, a alvenaria estrutural é utilizada por inúmeras construções, em todas as regiões do Brasil, especialmente as residenciais (PARSEKIAN, 2010).

2.3.2 Sistema construtivo em alvenaria estrutural

De acordo com Manzione (2007) a “principal característica da alvenaria estrutural é ter toda a carga do edifício transferida das lajes para as paredes portantes, que trabalham basicamente à compressão”. Além disso, as paredes de alvenaria estrutural devem apresentar as mesmas características das alvenarias de vedação, como, por exemplo, conforto térmico e acústico, estanqueidade, resistência ao fogo e durabilidade (PARSEKIAN, 2010).

Cabe ressaltar que nem sempre todas as paredes são estruturais, dependendo do projeto de cada edificação. A parede que é estrutural é toda aquela que participa da estrutura, servindo de apoio para lajes e outros elementos. Já a parede não estrutural é aquela q não participa da estrutura, gerando carregamentos (PARSEKIAN, 2010).

Os principais componentes da alvenaria estrutural são: blocos; argamassa de assentamento; graute e armadura (RAMALHO, 2003).

Os blocos são o fator determinante para a resistência à compressão das paredes de alvenaria estrutural, sendo assim, podemos considerá-lo como o elemento estrutural básico do sistema (MANZIONE, 2007). Existem três classificações para os blocos, que dependem da matéria-prima de sua construção: cerâmicos, concreto e sílico-calcário (ROMAN, 1999).

As características básicas para que os blocos possam ser utilizados em alvenaria estrutural são: resistência à compressão, baixa absorção de água, durabilidade e estabilidade dimensional (ROMAN, 1999).

Os blocos cerâmicos estruturais devem ter resistência mínima de 3,00 MPa, sendo que o bloco cerâmico mais comum encontrado no mercado é o de 6,00 MPa (PARSEKIAN, 2010).

Já os blocos de concreto devem ter sua resistência conforme o quadro 2:

Quadro 2– Requisitos para resistência característica à compressão de blocos de concreto

Classe	Resistência característica f_{bk} (Mpa)	Absorção média em %	
		Agregado Normal	Agregado leve
A	$\geq 6,0$	$\leq 10,0\%$	$\leq 13,0\%$ (média) $\leq 16,0\%$ (individual)
B	$\geq 4,0$		
C	$\geq 3,0$		
D	$\geq 2,0$		

Fonte: NBR 6136/2007

A NBR 6136 (2007) especifica que as classes de A a C são para uso estrutural e a classe D para uso não-estrutural.

Sobre a argamassa de assentamento Ramalho (2003) diz que ela “possui funções básicas de solidarizar as unidades, transmitir e uniformizar tensões entre as unidades de alvenaria, absorver pequenas deformações e prevenir a entrada de água nas edificações”. Normalmente a argamassa é constituída de cimento, areia e cal e deve apresentar trabalhabilidade, retentividade de água, liga, durabilidade e resistência a compressão (PARSEKIAN, 2010).

Sobre as juntas de assentamento sabe-se que: a junta vertical deve ser preenchida sempre; Já a junta de assentamento horizontal de 10,0 mm de altura deve ser disposta apenas nas laterais ou sobre toda a face do bloco, conforme acordado entre a obra e o projeto, e o dimensionamento deve seguir o procedimento executivo (PARSEKIAN, 2012).

A função principal do graute é aumentar a resistência da parede à compressão, através do aumento da seção transversal do bloco, mas pode também combater os esforços de tração quando tiver armaduras em seu interior. A constituição do graute é igual ao concreto convencional, porém ele apresenta agregados de pequenas dimensões e é relativamente fluido, podendo ser classificado como um microconcreto de alta plasticidade. A definição da resistência do graute é de responsabilidade do projetista, e deve ter como parâmetro, a

resistência característica maior ou igual a duas vezes a resistência característica do bloco (MANZIONE, 2007).

Segundo Parsekian (2010) “recomenda-se que a resistência do graute não seja inferior a 15,0 MPa, sendo esse valor mínimo em pontos com armadura para garantir a resistência”.

A utilização da armadura tem como objetivo combater os esforços de tração, sendo que as barras de aço serão sempre utilizadas juntamente com o graute (MANZIONE, 2007). Diferentemente dessa função existem somente as armaduras usadas nas juntas de argamassa de assentamento (RAMALHO, 2003).

Em vãos de janelas e portas, é necessário a construção de vigas, sendo que as dispostas sobre os vãos são denominadas vergas, e as dispostas sob os vãos chamam-se de contraverga (PARSEKIAN, 2010). Estas são elementos estruturais executados com blocos, do tipo canaletas, com armação horizontal e graute (COÊLHO, 1998).

Outro elemento estrutural do sistema construtivo é a cinta, a qual apresenta a função de distribuir cargas continuamente sobre as paredes ou aumentar a resistência da parede para ação fora do plano da parede ou na direção horizontal do plano da parede. Geralmente é composto de uma canaleta grauteada e armada, apoiada continuamente na parede, ligado ou não a lajes e/ou vergas ou contravergas (PARSEKIAN, 2010).

Denomina-se cinta de respaldo aquela executada preferencialmente na última fiada, esta que é obrigatória para lajes com concretagens em loco e opcionalmente na penúltima fiada para o caso de uso de lajes maciças pré-moldadas (PARSEKIAN, 2012).

Em algumas situações é necessário o uso das cintas intermediárias localizadas a meia altura nas paredes. Geralmente utiliza-se em regiões onde há previsão da ação sísmica (incomum no Brasil) e para permitir armadura horizontal e minimizar os efeitos da retração da parede (PARSEKIAN, 2012).

Segundo Manzione (2007) as lajes na alvenaria estrutural “recebem e transmitem cargas permanentes e variáveis e atuam como diafragma, retribuindo as tensões”. Esses elementos são apoiados sobre as paredes estruturais, tendo o cuidado para não apoiá-los em paredes de simples vedação, sendo por isso

aconselha-se a execução da alvenaria após a retirada das escoras da laje e também após o carregamento da estrutura, com no mínimo três andares acima executados.

2.4 Sistema construtivo com paredes de vedação servindo de apoio das vigas

No sistema construtivo onde as paredes de vedação servem de apoio das vigas, as alvenarias são elevadas antes das vigas do pavimento e a concretagem é semelhante ao processo de concretagem das cintas de amarração nas alvenarias estruturais, porém neste caso as alvenarias são executadas com blocos de vedação sem função de absorver os esforços impostos pela estrutura (SPEROTTO, 2009). Os pilares podem ser construídos antes das alvenarias, ou somente após as alvenarias, sendo essa uma peculiaridade de cada obra.

Somente após a conclusão de todas as alvenarias do pavimento em execução é que se inicia a montagem das formas das vigas e lajes do pavimento superior, tendo em vista que as formas das vigas são fixadas externamente as alvenarias com arame recozido (SPEROTTO, 2009).

Figura 7- Viga desformada sem encunhamento com a parede



Fonte: Diani Rizzetti Sopelsa

Figura 8 - Viga desformada sem encunhamento com a parede



Fonte: Diani Rizzetti Sopelsa

Em construções que utilizam este método não há encunhamento entre a alvenaria de vedação e a estrutura de concreto armado. Desta maneira as alvenarias são monolitizadas à estrutura, passando a interagir conjuntamente, movimentando-se e absorvendo as deformações até um determinado limite, após podem surgir desequilíbrios e patologias (GOMIDE, 20-- ?).

O sistema construtivo utiliza os mesmos materiais que o sistema construtivo em concreto armado, tendo como diferenciação as etapas de execução. Não há normatização, e deve-se atentar para o fato de que qualquer deformação da estrutura poderá originar sobrecargas nas alvenarias que podem vir apresentar problemas, visto que nessas alvenarias são executadas blocos de vedação com baixa resistência à compressão (SPEROTTO, 2009).

O concreto utilizado atualmente passou por um avanço tecnológico nas últimas décadas, e apresenta características diferentes do que os utilizados antigamente, por isso há registros de rupturas em paredes mesmo com a execução de encunhamento. Essas rupturas são devido a deformações lentas e excessivas e a fluência do concreto, tornando as estruturas mais deformáveis, induzindo tensões nas vedações de uma magnitude tal que as alvenarias não tem condições de suportar (MEDEIROS, 2005).

Segundo Carvalho (2009) fluência é o “fenômeno em que surgem deformações ao longo do tempo em um corpo solicitado por tensão constante”. Essas deformações podem ser rápidas: que ocorrem nas primeiras 24 horas, após o carregamento e é irreversível e deformação lenta composta por uma parte de deformação que é reversível e uma parte irreversível.

Além disso, segundo Valle (2008) os elementos estruturais se deformam naturalmente sob ação do seu peso próprio, das cargas permanentes e acidentais e sob o efeito da retração e da deformação lenta do concreto, admitindo flechas que podem não comprometer a sua estabilidade, estética e resistência estruturais, mas podem ser incompatíveis com a capacidade de deformação de paredes ou outros componentes que integram os edifícios.

Sobre as deformações, Sperotto (2009) afirma que:

Outro ponto fundamental é a influência da alvenaria no desenvolvimento das deformações das vigas sob quais as paredes estão.[...] A alvenaria influencia de forma muito positiva no que diz respeito as deformações do elemento estrutural, uma vez que a mesma funciona como um o apoio para as vigas. As tensões geradas nas alvenarias são tais que não prejudicam o desempenho da mesma.

Ainda Sperotto (2009) defende que, a alvenaria mesmo não sendo dimensionada para tal função contribui como um apoio uniforme ao longo do vão das vigas e sua inexistência poderia provocar deformações excessivas na estrutura, todavia deve-se atentar para que as tensões atuantes não sejam maiores que as tensões limites das alvenarias.

Ressalta-se que tem-se conhecimento de casos mais extremos de acentuada deformação estrutural, estas que introduzem esforços de compressão nas alvenarias com o conseqüente desequilíbrio sistêmico estrutura-alvenaria e rupturas de alívio dessas compressões (GOMIDE, 20-- ?).

Pode-se ter uma idéia da ação de compressão nas paredes por Thomaz (2001), o qual diz que:

Ao se comprimir uma alvenaria construída por componentes maciços, a argamassa sofre deformações transversais mais acentuadas que os tijolos, introduzindo nos mesmos um estado triaxial de tensões: compressão vertical e tração nas duas direções do plano horizontal; nessas condições, a argamassa fica portanto submetida a um estado triaxial de tensões de compressão. Ultrapassada a resistência à tração dos tijolos, começam a ocorrer fissuras verticais no corpo da parede. No caso de alvenarias construídas por blocos vazados, outras tensões importantes juntar-se-ão às precedentes; para blocos com furos retangulares dispostos verticalmente,

as tensões tangenciais normalmente provocam ruptura dos septos ou nervuras transversais dos blocos, levando à ruptura da parede.

Cabe ressaltar aqui que mesmo que seja cada vez mais comum a transmissão de tensões advindas de deformações estruturais (flechas, recalques de fundações, movimentações térmicas) para as alvenarias de vedações, estas não são destinadas a suportar carregamentos. Para a minimização destes problemas deve-se prever uma série de dispositivos (juntas, encunhamentos e outros) que possibilitem o trabalho harmônico e solidário entre estrutura e paredes (THOMAZ, 2001).

3 METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho será dividida em etapas, as quais são:

- a) Pesquisa e análise de especificações de normas técnicas do sistema construtivo de concreto armado e alvenaria estrutural;
- b) Visitas a obras com sistema construtivo em questão;
- c) Verificação das etapas de construções do sistema;
- d) Listagem de pontos positivos e negativos do sistema;
- e) Analisar riscos estruturais quando da aplicação do sistema construtivo;
- f) Conclusões a cerca da utilização do sistema.

Será realizada uma pesquisa nas normas técnicas brasileiras no que tangem as construções de concreto armado, buscando a análise das especificações decorrentes e a verificação da normalização do sistema construtivo em questão. Serão abordados as deformações que o concreto armado pode apresentar e os valores indicados como limite. Também serão analisados os valores de resistência indicados para os blocos utilizados em paredes de vedação.

Buscando verificar a ocorrência deste sistema construtivo na região, serão visitadas obras que o aplicam. Será caracterizada a edificação quanto ao número de andares, tipo de lajes, uso, área total e localização. Durante a visita serão feitos alguns questionamentos, os quais seguem relacionados a seguir:

- Se durante a concepção do projeto estrutural da edificação foi levado em conta que a mesma seria construída sem fundo de formas de vigas, apoiando o elemento estrutural diretamente nas alvenarias de vedação;
- Se há projeto para as alvenarias de vedações, levando em conta os esforços adicionais que podem ser causados pela estrutura de concreto armado;
- O tipo de bloco utilizado nas alvenarias de vedações e sua resistência;
- O traço da argamassa utilizada para o assentamento dos blocos, e se ela é produzida no canteiro ou industrializada;
- A mão-de-obra utilizada tem treinamento específico para este sistema construtivo;

- Tempo de escoramento das lajes e desforma dos painéis laterais das vigas e pilares;
- Existência ou não de espaçadores entre as ferragens das vigas e paredes;
- Existência ou não de projeto de formas;
- Geometria, integridade e regularidade das peças de formas;
- Resistência do concreto utilizado nas lajes, vigas e pilares;
- Existência de controle e conferências durante a execução, como por exemplo, cobrimentos, ancoragens, transpasses de armaduras, controle tecnológico do concreto, integridade das formas, entre outros;
- Existência de ensaios de argamassa de assentamento e bloco de vedação;
- Verificação da forma de execução das instalações elétricas e hidráulicas em relação as estruturas de concreto e alvenarias;

Durante as visitas também serão verificadas e descritas as etapas da construção e a ordem em que as mesmas acontecem, sendo observado: montagem de formas e armaduras dos pilares, concretagem e desforma dos pilares, marcação da primeira fiada das alvenarias, elevação das alvenarias, montagem das formas e armaduras das vigas e laje e passagem das instalações elétricas e hidráulicas.

Após essas etapas será estudado o sistema construtivo e apontado os pontos negativos e positivos da sua utilização.

A análise dos riscos estruturais será efetuada tendo como base os dados retirados das normas técnicas, atentando para as deformações a que o concreto armado e as paredes de vedação são submetidos nesses tipos de edificações, levando em conta que as paredes irão interagir com a estrutura e sofrerão solicitações.

4 PESQUISA NAS NORMAS TÉCNICAS BRASILEIRAS

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT define normalização como sendo o "processo de formulação e aplicação de regras para o tratamento ordenado de uma atividade específica, para o benefício e com a cooperação de todos os interessados e, em particular, para a promoção da economia global ótima, levando na devida conta condições funcionais e requisitos de segurança".

Diante desta definição entendemos a importância da normalização para qualquer atividade, na construção civil não é diferente, por isso foi realizada uma pesquisa nas Normas Técnicas Brasileiras, buscando informações sobre as especificações no que tange a execução de paredes de vedação interagindo com a estrutura.

Sendo assim foram filtradas todas as normas que abrangem concreto armado e alvenaria de vedação.

Na normalização de concreto armado foram pesquisadas as seguintes normas:

- NBR 6118 /2007 - Projeto de estruturas de concreto – Procedimento;
- NBR 14931/2004: Execução de estruturas de concreto: procedimento.

A NBR 6118/2007 estabelece os requisitos básicos exigíveis para projeto de estruturas de concreto simples, armado e protendido, excluindo aquelas em que se empregam concreto leve, pesado ou outros especiais.

Na norma não consta que pode-se considerar a estrutura apoiada em paredes de vedação, e também não há nenhuma hipótese de cálculo, caso fosse considerado que a parede auxilia na resistência da viga.

A única citação se refere a deslocamentos limites, estes que são os valores práticos utilizados para a verificação em serviço do estado limite de deformações excessivas da estrutura. Existem quatro grupos básicos, sendo que em um deles é estabelecido os efeitos em elementos não estruturais que podem ocasionar o mau funcionamento de elementos que, apesar de não fazerem parte da estrutura, estão a ela ligados.

Quadro 3 – Limites para deslocamentos

Tipo de efeito	Razão da limitação	Exemplo	Deslocamento a considerar	Deslocamento Limite
Efeitos em elementos não estruturais	Paredes	Alvenaria, caxilhos e revestimentos	Após a construção da parede	$\frac{l^*}{500}$ ou 10 mm ou $\theta = 0,0017 \text{ rad}^{**}$
<p>*O vão l deve ser tomado na direção na qual a parede ou a divisória se desenvolve.</p> <p>**Rotação nos elementos que suportam paredes.</p>				

Fonte: Quadro elaborado pelo autor a partir de informações recolhidas na NBR 6118/2007.

Já a NBR 14931/2004 fixa parâmetros detalhados para a execução de obras de concreto, cujos projetos foram elaborados de acordo com a NBR 6118. No item que trata de escoramentos há várias instruções sobre a sua construção, sendo que em nenhuma hipótese diz que o escoramento dos fundos de forma de vigas pode ser efetuados com a própria parede de vedação. A seguir destacam-se algumas dessas instruções:

- quando da construção do escoramento, este deve ser apoiado sobre cunhas, caixas de areia ou outros dispositivos apropriados a facilitar a remoção das fôrmas, de maneira a não submeter a estrutura a impactos, sobrecargas ou outros danos;
- Os planos de desforma e escoramentos remanescentes devem levar em conta os materiais utilizados associados ao ritmo de construção, tendo em vista o carregamento decorrente e a capacidade suporte das lajes anteriores, quando for o caso;
- A colocação de novas escoras em posições preestabelecidas e a retirada dos elementos de um primeiro plano de escoramento podem reduzir os efeitos do carregamento inicial, do carregamento subsequente e evitar deformações excessivas; Neste caso devem ser considerados os seguintes aspectos:

- Nenhuma carga deve ser imposta e nenhum escoramento removido de qualquer parte da estrutura enquanto não houver certeza de que os elementos estruturais e o novo sistema de escoramento têm resistência suficiente para suportar com segurança as ações a que estarão sujeitos;
- Nenhuma ação adicional, não prevista nas especificações de projeto ou na programação da execução da estrutura de concreto, deve ser imposta à estrutura ou ao sistema de escoramento sem que se comprove que o conjunto têm resistência suficiente para suportar com segurança as ações a que estará sujeito;
- A análise estrutural e os dados de deformabilidade e resistência do concreto usados no planejamento para a reestruturação do escoramento devem ser fornecidos pelo responsável pelo projeto estrutural ou pelo responsável pela obra, conforme acordado entre as partes;
- A verificação de que a estrutura de concreto suporta as ações previstas, considerando a capacidade de suporte do sistema de escoramento e os dados de resistência e deformabilidade do concreto.

Para a construção de fôrmas, a norma define que ela deve ser suficientemente estanque, de modo a impedir a perda de pasta de cimento, tendo como limite o surgimento do agregado miúdo a superfície do concreto.

Além disso, está estabelecido que tanto formas como escoramentos não podem ser removidos, com nenhuma exceção, até que o concreto tenha adquirido resistência suficiente para:

- suportar a carga imposta ao elemento estrutural nesse estágio;
- evitar deformações que excedam as tolerâncias especificadas;
- resistir a danos para a superfície durante a remoção.

Para as alvenarias de vedações foram pesquisadas as seguintes normas:

- NBR 8545/1984: Execução de alvenaria sem função estrutural de tijolos e blocos cerâmicos – Procedimento;
- NBR 15270-1/2005: Componentes cerâmicos Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação - Terminologia e requisitos.

A NBR 8545/1984 fixa as condições exigíveis para execução e fiscalização de alvenaria sem função estrutural de componentes cerâmicos. Nesta norma está especificado que obrigatoriamente deve ser interrompida a alvenaria abaixo da estrutura (vigas e lajes), deixando-se espaço para o encunhamento, este que deve ser executado no mínimo 7 dias após a conclusão da alvenaria. Em casos de construções com mais de um pavimento, o encunhamento só deverá ser executado após o término da construção da alvenaria do pavimento superior.

Em edificações de múltiplos pavimentos o ideal é executar as alvenarias de todos os pavimentos e somente após isso realizar o encunhamento. Isso se dá pelo fato de que conforme são executadas as alvenarias, a edificação será carregada. Estes carregamentos farão com que a estrutura entre em carga, e sofra as deformações iniciais previstas em projeto. Com esse procedimento o encunhamento será realizado após essas deformações, podendo evitar patologias e carregamentos desnecessários nas vedações.

Na NBR 15270-1/2005 está definido que os blocos cerâmicos para vedação que constituem as alvenarias externas ou internas não têm a função de resistir a outras cargas verticais, além do peso da alvenaria da qual faz parte.

5 OCORRÊNCIA DE OBRAS NA REGIÃO

Para entender o sistema construtivo que está sendo estudado neste trabalho buscou-se obras que o utilizam. Durante esta pesquisa observou-se que há a ocorrência de muitas obras com este sistema, desde casas térreas, até edifícios altos com mais de 13 pavimentos.

Houve constatação de obras na região metropolitana de Porto Alegre, São Leopoldo, Caxias do Sul, Santa Maria, Passo Fundo, Lajeado, Gramado e Santa Cruz do Sul. Pela proximidade foram visitadas as obras do município de Santa Cruz do Sul, e de outros municípios obteve-se somente registros fotográficos.

Figura 9 – Obra no município de Caxias do Sul



Fonte: Marcus Daniel F. dos Santos

Figura 10 – Edifício em construção com mais de 8 pavimentos no município de São Leopoldo



Fonte: Marcus Daniel F. dos Santos

Figura 11 – Condomínio com mais de duas torres em construção em São Leopoldo



Fonte: Marcus Daniel F. dos Santos

Figura 12 – Edifício no município de Passo Fundo com mais de 13 pavimentos sendo construído



Fonte: Marcus Daniel F. dos Santos

Figura 13 – Edifício em construção em Santa Maria



Fonte: Marcus Daniel F. dos Santos

6 CARACTERIZAÇÃO DAS OBRAS VISITADAS

Para o entendimento do sistema construtivo em questão fez-se visitas às obras da região de Santa Cruz do Sul que o utilizam. Foram realizadas várias visitas técnicas, com o intuito de compreender, conhecer a mão-de-obra empregada, fotografar, descrever o processo construtivo e os materiais empregados.

6.1 Obra 1

A obra fica localizada na Avenida Independência, no município de Santa Cruz do Sul. É uma edificação multifamiliar, com 5 andares, sendo que o térreo é destinado a garagens e uma loja, e os outros quatro pavimentos para apartamento.

Foram realizadas visitas, em várias etapas de obra, quando pode-se conversar com o encarregado da obras e funcionários. Com isso tomou-se conhecimento das etapas de construção do sistema em questão, e também conseguiu-se algumas informações relevantes sobre a obra.

Não houve acesso à projetos, todas as informações obtidas são advindas de observações e de conversas com o encarregado da obra. Por isso não se obteve informações a respeito do projeto estrutural e se durante sua concepção foi considerado que a edificação seria construída sem fundo de formas de vigas.

Figura 14 - Vista da obra visitada



Fonte: Diani Rizzetti Sopelsa

Nesta obra executam-se primeira as alvenarias até 1,40 metros, após os pilares a igual altura. Numa segunda etapa concluem-se as alvenarias e posteriormente os pilares.

A equipe de profissionais responsáveis pela execução já havia trabalhado com este sistema construtivo.

Apenas o térreo teve o sistema construtivo convencional de concreto armado, o restante dos pavimentos utilizam o sistema em questão. As lajes de todos os pavimentos são treliçadas (vigota pré-moldada com armadura treliçada), as quais permanecem escoradas por 21 dias, após isso pode ser realizado o reescoramento.

Não há projetos para o escoramento e de fôrmas, a construção dessas etapas é realizada segundo instruções do mestre de obras. Da mesma forma não há projeto para a execução das alvenarias.

Na obra não há nenhum tipo de sistema de controle e conferências das etapas da obra. Os profissionais executam os serviços que são supervisionados pelo mestre de obras.

Para as instalações elétricas são deixadas esperas nas vigas que seguem (tanto no sentido vertical como horizontal) através de cortes nas paredes para as caixas de abastecimento. Já as instalações hidráulicas tem seu abastecimento por tubulações até o andar (quadro de medição) e se distribuem através de tubulações pelo piso do andar. Chegando ao local de abastecimento as tubulações sobem pela parede e se ramificam no sentido, tanto vertical como horizontal.

6.1.1 Descrição dos materiais

Tendo em vista o sistema construtivo em questão, serão descritos os materiais relevantes a este estudo, sendo estes: bloco cerâmico, argamassa de assentamento e concreto.

6.1.1.1 Bloco Cerâmico

O bloco cerâmico utilizado para execução de todas as alvenarias é de 6 furos, com as dimensões de 9x14x19 cm, o qual tem sua função restrita apenas a vedação.

O bloco é fabricado na região do Vale do Taquari, e em uma cerâmica de pequeno porte, a qual não realiza ensaios de caracterização geométrica e mecânica dos blocos.

Figura 15 – Bloco de 6 furos de vedação utilizado no empreendimento



Fonte: Diani Rizzetti Sopelsa

6.1.1.2 Argamassa de assentamento

A argamassa de assentamento é produzida na própria obra, com o traço de 1:1:7 em volume (cimento:cal;areia). Não são executados ensaios de caracterização mecânica da argamassa.

Os materiais são estocados na obra e as dosagens da argamassa são realizadas com o uso de pás (para a areia) e baldes para o cimento e a cal hidratada, já a água é lançada dentro da betoneira com a própria mangueira de abastecimento, sendo que o operador é responsável por observar quando, segundo sua opinião, a quantidade de água é suficiente.

Figura 16 - Central de produção da argamassa



Fonte: Diani Rizzetti Sopelsa

Figura 17 - Estoque de areia na obra



Fonte: Diani Rizzetti Sopelsa

Figura 18 - Cimento e cal armazenados na obra



Fonte: Diani Rizzetti Sopelsa

Figura 19 - Baldes para dosagem do cimento



Fonte: Diani Rizzetti Sopelsa

6.1.1.3 Concreto

O concreto utilizado é usinado, fornecido por uma empresa do próprio município, sendo fornecido com caminhão betoneira e abastecido nos pavimentos por meio de bomba estacionária. Não se teve acesso ao projeto estrutural para saber as especificações do mesmo, tais como a resistência e slump.

6.1.2 Desconformidades nas alvenarias de vedação

Durante as visitas realizadas ao canteiro de obras foram visualizadas algumas inconformidades no que tangem a boa prática da execução de obras, principalmente relacionadas a alvenaria de vedação e estruturas de concreto armado, que são as principais etapas estudadas neste trabalho.

As alvenarias não tinham padronização durante sua execução, sendo encontradas diferenças entre uma parede e outra, como espessuras de juntas, alinhamento de fiadas e prumo.

Figura 20 - Paredes sem padronização de execução



Fonte: Diani Rizzetti Sopelsa

Nas paredes já executadas e com as vigas concretadas foram observados muitos blocos quebrados. Acredita-se que estes quebraram ao desformar as vigas, já que os painéis das mesmas ficavam fixados à alvenaria através de arames.

Também observou-se a falta de alinhamento no encontro das paredes e nas fiadas das alvenarias (Figura 21).

Figura 21 - Desalinhamento do encontro das paredes e blocos quebrados



Fonte: Diani Rizzetti Sopelsa

Figura 22 - Blocos nos topos das paredes quebrados e fiadas desalinhasdas



Fonte: Diani Rizzetti Sopelsa

Figura 23 - Outra parede com blocos quebrados



Fonte: Diani Rizzetti Sopelsa

Existe grande variabilidade de espessuras das juntas de assentamento tanto longitudinal como transversal, sendo que em algumas fiadas havia a ausência dessas juntas e em alguns casos juntas a prumo.

Figura 24 - Paredes com grande variabilidade nas espessuras das juntas



Fonte: Diani Rizzetti Sopelsa

Figura 25 - Espaços de juntas sem preenchimento de argamassa



Fonte: Diani Rizzetti Sopelsa

Outra inconformidade encontrada foram paredes quebradas para a abertura de vãos, sem elementos estruturais necessários para locais como estes, as vergas e contravergas. Tais elementos permitem a distribuição das tensões que se concentram nos vértices dos vãos, geralmente a causa de fissuras a 45° nas paredes.

Figura 26 - Abertura de canaleta onde deveria haver uma verga



Fonte: Diani Rizzetti Sopelsa

Alguns elementos estruturais tinham suas dimensões prejudicadas, como no exemplo da Figura 27, no qual podemos observar claramente que um pedaço da própria forma (painel lateral) ficou inserido dentro da caixa da viga, prejudicando o tamanho do elemento previsto em projeto e também o cobrimento das armaduras.

Figura 27 – Viga com pedaços de madeira prejudicando sua geometria



Fonte: Diani Rizzetti Sopelsa

Figura 28 - Alvenaria mal executada e com quebra na lateral da janela



Fonte: Diani Rizzetti Sopelsa

Figura 29 - Cantos de blocos quebrados



Fonte: Diani Rizzetti Sopelsa

Com a instalação dos contramarcos, para posterior fixação das janelas e portas, notou-se a incompatibilidade dos vãos deixados nas alvenarias com as reais dimensões das janelas.

Figura 30 - Vãos de aberturas maiores que os contramarcos



Fonte: Diani Rizzetti Sopelsa

6.2 Obra 2

A obra fica localizada na Rua Carlos Trein Filho, no centro da cidade de Santa Cruz do Sul, com uma área aproximada de construção total de 1.300,00 m². Este prédio será destinado a um centro comercial com parte de sua edificação com dois andares e outra parte com um andar.

Por se tratar de um centro comercial há uma área grande sem divisórias, sendo assim, há vigas e pilares construídos da maneira convencional do sistema construtivo de concreto armado. Já nos locais onde é executado divisórias, com blocos de vedação de 9 furos, está sendo executado o sistema em estudo: vigas apoiadas diretamente nas paredes de vedação, sem encunhamento.

Figura 31 - Vista da obra visitada



Fonte: Diani Rizzetti Sopelsa

Nesta obra a parede é executada até o nível da viga, após isso são montados os pilares com as armaduras e fôrmas necessárias, e se prossegue com a concretagem. Logo em seguida inicia-se a montagem das fôrmas e armaduras das vigas e lajes.

Durante as visitas pode-se acompanhar a execução destas etapas, sendo que não pode ser acompanhado a parte de execução das instalações hidrossanitárias e elétricas.

Não há projeto de fôrmas e de escoramento, essas etapas são construídas segundo o conhecimento e experiência dos funcionários. Também não há projeto para a execução das paredes.

Durante as visitas não se teve acesso a projetos, sendo as informações colhidas a partir de conversas com os trabalhadores. Pelo mesmo motivo não se obteve informações a respeito do projeto estrutural, não podendo confirmar se na sua concepção foi considerado que parte da edificação seria construída sem fundo de formas de vigas.

O tipo de laje utilizado é treliçada, onde a vigota é pré-moldada com armadura treliçada. O escoramento da laje é mantido por cerca de 21 dias, após isso, inicia-se a retirada das escoras. Antes desse prazo são retiradas algumas escoras de modo empírico, conforme a necessidade de deslocamentos dentro da obra.

A obra não possui sistema de controle e conferências dos serviços executados, onde o mestre de obras é o responsável por fiscalizar os serviços dos trabalhadores.

6.2.1 Descrição dos materiais

Após visitas a obra serão descritos os materiais utilizados, sendo abordados os que são relevantes a este estudo: bloco cerâmico, argamassa de assentamento e concreto.

6.2.1.1 Bloco Cerâmico

O bloco cerâmico utilizado para execução de todas as alvenarias é de 9 furos, com as dimensões de 14x19x24 cm, o qual tem sua função restrita apenas a vedação. O bloco é fabricado na região do Vale do Rio Pardo em uma cerâmica de grande porte. A empresa não realiza ensaios para os blocos 9 furos, pois segundo justificativa da mesma, esses blocos são poucos procurados pela construção civil. Para os blocos 6 furos são realizados ensaios para determinação das

características geométricas, verificação da resistência à compressão e determinação da massa seca e do índice de absorção de água.

Figura 32 – Bloco cerâmico 9 furos de vedação utilizado no empreendimento



Fonte: Diani Rizzetti Sopelsa

6.2.1.2 Argamassa de assentamento

Assim como a outra obra citada, esta também não utiliza argamassa industrializada, sendo um operário responsável pela produção da mesma.

Para o assentamento dos blocos é utilizada argamassa de cimento, cal e areia, sendo o traço de 1:1:6 respectivamente, em volume. Ainda na dosagem da argamassa é utilizado um aditivo plastificante, sendo que não há uma medida estipulada, sua utilização visa melhorar a trabalhabilidade da argamassa e quem define a medida é o operador da betoneira, conforme o pedido dos pedreiros.

Para a dosagem dos materiais são empregados baldes, tanto para o cimento, quando areia e cal e para a dosagem da água é utilizada uma mangueira.

6.2.1.3 Concreto

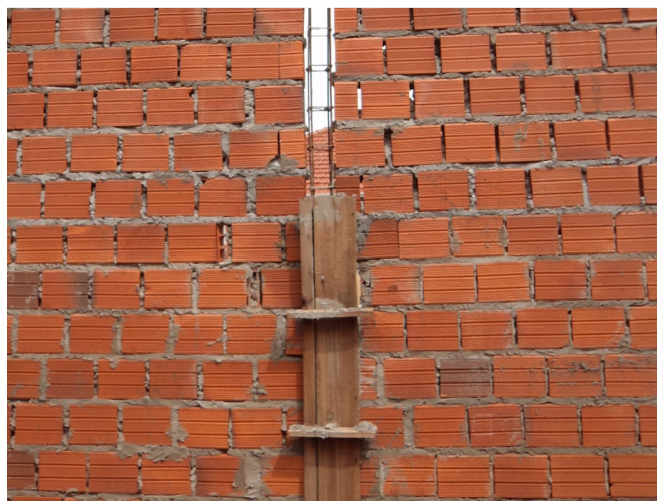
Quando a concretagem acontece em grandes volumes, o concreto é usinado. Porém em algumas situações, onde o volume demandado é menor (até mais ou menos 2,0 m³) o concreto é produzido na própria obra.

6.2.2 Desconformidades na execução

Nas visitas realizadas à obra pode-se observar algumas desconformidades das etapas de execução, ligadas a alvenaria de vedação e estruturas de concreto armado.

Uma desconformidade está ligada ao assentamento da alvenaria: este não tem padronização, sendo notável a diferença nas fiadas. Na Figura 33 observamos que até uma certa altura a alvenaria mantém um nível de qualidade adequado de assentamento, quando de uma certa fiada para cima muda totalmente a qualidade, com variação de espessura de juntas, tanto das transversais como longitudinais, mostrando assim a falta de padronização. Ainda, nota-se que há, inclusive, a falta de argamassa no preenchimento dos juntas.

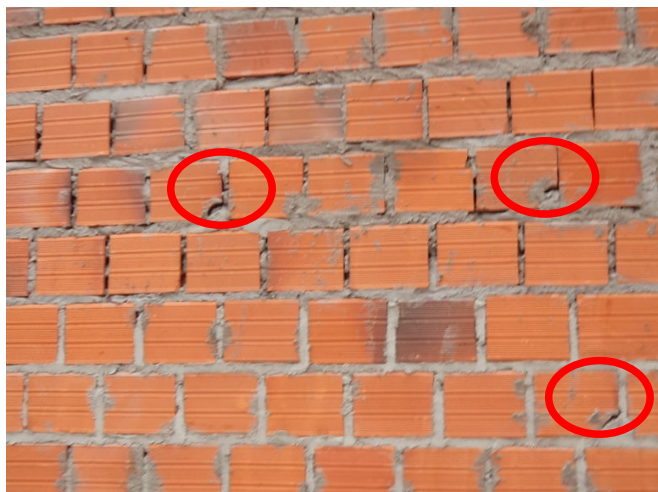
Figura 33 – Alvenaria com assentamento não uniforme



Fonte: Diani Rizzetti Sopelsa

Na obra, constatou-se muitos blocos assentados com quebras, gerando a falta de pedaços das peças nos cantos. Na Figura 34 esta destacado esta ocorrência.

Figura 34 – Alvenaria com assentamento não uniforme



Fonte: Diani Rizzetti Sopelsa

7 DESCRIÇÃO DO SISTEMA CONSTRUTIVO

A descrição do sistema construtivo em estudo se deu através de visitas a obras, onde foram observadas as etapas de construção e colhidas informações através de conversas com a mão-de-obra responsável pela execução.

Foram observadas somente as etapas relacionadas à estrutura, alvenaria e instalações.

Observou-se também uma variação nas etapas de construção de uma obra para outra. Esta variação está relacionada à construção dos pilares que podem obedecer as seguintes sequências:

- Pilares executados em duas etapas: primeiramente é elevada a alvenaria até a altura de 1,4 metros, após isso iniciam-se os trabalhos relacionados aos pilares, como construção das fôrmas e colocação de armaduras, concretando os pilares até a mesma altura das alvenarias. Conclui-se a altura total da alvenaria e, após isso, conclui-se a concretagem dos pilares;
- Pilares executados após a execução das alvenarias: São erguidas as alvenarias até a altura do pé-direito e após é executado os pilares;
- Pilares executados antes das alvenarias: são executados os pilares até a altura do pé-direito e após isso as alvenarias são embutidas;

No entanto, a construção das vigas acontece somente após a conclusão tanto dos pilares como das alvenarias, sendo esta apoiada diretamente nas paredes, como será descrito a seguir.

7.1 Execução da alvenaria de vedação

Geralmente, um dia após a concretagem da laje de piso, de porte dos devidos projetos, são iniciados os serviços relacionados a construção da alvenaria de vedação.

No caso das alvenarias serem construídas antes dos pilares, é marcada a primeira fiada, também é consultado o projeto estrutural, para que se deixe o espaço

necessário para a construção dos pilares. A alvenaria de todo o pavimento é elevada até a altura de 1,40 metros.

Figura 35 – Primeira fiada de alvenaria



Fonte: Diani Rizzetti Sopelsa

Figura 36 - Parede erguida até a altura de 1,40 metros com esperas para a construção dos pilares



Fonte: Diani Rizzetti Sopelsa

A segunda etapa das alvenarias de vedação para que se complete o pé-direito, se dá após a concretagem de uma altura de 1,40 metros dos pilares.

Entretanto em outras obras as alvenarias são construídas até a altura total das paredes, deixando-se espaço para posterior construção dos pilares.

Figura 37 – Alvenaria sendo construída já com as armaduras dos pilares concluídas



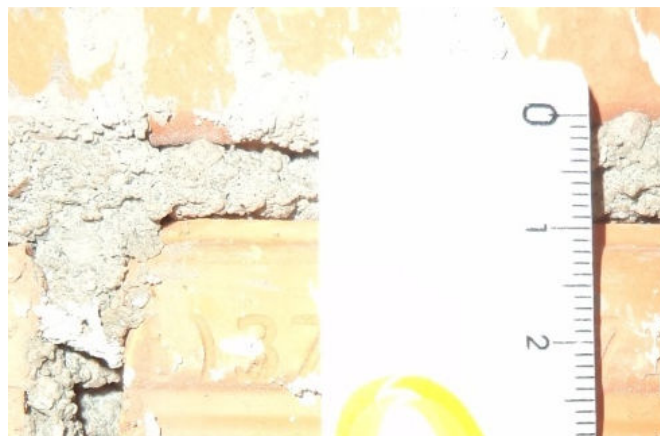
Fonte: Diani Rizzetti Sopelsa

Outra variação são casos onde a alvenaria é construída somente após a conclusão dos pilares. Nestes, a primeira fiada é marcada nos vãos deixados entre os pilares e a parede é erguida até a altura onde se iniciará a viga.

Mesmo com a variação da ordem de execução, a alvenaria é construída da mesma maneira, sendo o serviço iniciado pelos cantos, obedecendo o prumo para o alinhamento vertical. É esticado uma linha de nylon na posição definida para a parede, esta é a referência para o alinhamento horizontal e o nível das fiadas. As alvenarias são construídas com o assentamento dos blocos de vedação 6 furos ou 9 furos de cutelo ($\frac{1}{2}$ vez), com juntas de argamassa, observando o prumo da parede e o alinhamento das fiadas.

A junta de argamassa horizontal varia, com espessuras de 0,7 cm a 3,5 cm (Figuras 38 e 39) e a junta vertical de 0,8 cm a 3,0 cm (Figuras 40 e 41).

Figura 38 - Espessura da junta de assentamento horizontal



Fonte: Diani Rizzetti Sopelsa

Figura 39 - Espessura da junta de assentamento horizontal



Fonte: Diani Rizzetti Sopelsa

Figura 40 - Espessura da junta de assentamento vertical



Fonte: Diani Rizzetti Sopelsa

Figura 41 - Espessura da junta de assentamento vertical



Fonte: Diani Rizzetti Sopelsa

Para proporcionar a devida amarração, entre as fiadas de alvenaria, os blocos são assentados com juntas desencontradas, e de maneira ideal não devem ter juntas a prumo para uma maior resistência e estabilidade do conjunto.

A argamassa é levada até os pavimentos com o auxílio de guinchos de coluna, abastecendo os caixotes de cada pedreiro.

7.2 Execução dos pilares

Tendo as devidas esperas de ancoragem dos pilares nas lajes, é iniciado a construção dos pilares.

Nas obras, onde está executada a parede até a altura de 1,40 metros, as formas dos pilares são construídas até essa altura, nos espaços demarcados e deixados entre a alvenaria. São colocados os ganchos de pilar das faces laterais, tendo o cuidado de conferir sua fixação e solidariedade à laje. Prossegue-se para a etapa de construção de painéis de madeira das formas laterais dos pilares.

Figura 42 - Forma do pilar com os painéis laterais e ferragens erguida até a altura da alvenaria



Fonte: Diani Rizzetti Sopelsa

Levando em conta que, durante a concretagem, e por não haver formas em duas faces dos pilares (as quais estão em contato com a alvenaria), não são colocados ferros cabelos, os quais tem a função de ligação entre o pilar e a alvenaria. A concretagem é realizada até a altura das formas: 1,40 metros

Figura 43 - A esquerda, um pilar concretado até a altura de 1,40 metros e a direita, um espaço para um pilar com esperas de ancoragem



Fonte: Diani Rizzetti Sopelsa

Figura 44 – Pilar com marcas de emendas de concretagem, mais ou menos a altura de 1,40 metros



Fonte: Diani Rizzetti Sopelsa

Em outras obras onde a alvenaria está construída até a altura total da parede, são posicionadas as armaduras e construídas as formas dos pilares. Do mesmo modo como descrito anteriormente, não são deixados ferros cabelos, já que são

executadas somente as formas de duas faces dos pilares e as outras duas faces estão em contato direto com a alvenaria, o que propicia uma certa ancoragem.

Nas obras em que os pilares são executados anteriormente às alvenarias, são posicionadas e fixadas as armaduras, e após iniciam-se os serviços relacionados às fôrmas. Primeiramente são posicionados os gachos de pé, após iniciam-se a montagem das formas, desta vez com as quatro faces. Concluído estes serviços prossegue-se para concretagem.

Figura 45 – Pilares construídos anteriormente à alvenaria



Fonte: Marcus Daniel F. dos Santos

Em todos os casos são colocados nas armaduras os espaçadores, que garantem o cobrimento necessário.

Independente da ordem de execução, a desforma dos pilares acontece no dia posterior a concretagem. O processo para mesma é simples, sendo necessário somente retirada dos arames que fixam as formas nas alvenarias e os gachos de pé dos pilares. As madeiras são armazenadas para reaproveitamento.

Antes da concretagem são conferidos o prumo e o nivelamento desses elementos, sendo a concretagem realizada, na maioria dos casos, com concreto usinado, com auxílio de bomba.

7.3 Execução das vigas e lajes

Assim que concluída a concretagem dos pilares e a construção das alvenarias, inicia-se a construção das formas das vigas e das lajes. Para as formas das vigas não são colocadas a parte do fundo, pois a alvenaria terá a função de conter o concreto, sendo assim, são construídos apenas os painéis de madeira das laterais das vigas, que são fixados com arame recozido nas alvenarias.

Figura 46 - Formas laterais das vigas construídas logo após a desforma dos pilares



Fonte: Diani Rizzetti Sopelsa

Dependendo do tipo de laje, são executadas as formas necessárias para sua concretagem. Nas lajes as escoras utilizadas são de madeiras. Já nas vigas não são utilizadas escoras nas formas de fundo, pois a parede assume a função de escoramento do elemento estrutural. São utilizadas somente algumas escoras nas laterais das formas.

Figura 47 – Viga com as formas e armadura montadas



Fonte: Diani Rizzetti Sopelsa

Nas ferragens das lajes são utilizados espaçadores, podendo estes serem do tipo “rapadura”, que são confeccionados na própria obra ou industrializado. Já nas vigas não são utilizados espaçadores, sendo que a armadura fica posicionada na forma, através de uma amarração com arame recozido fixado na própria forma.

Figura 48 – Laje treliçada montada

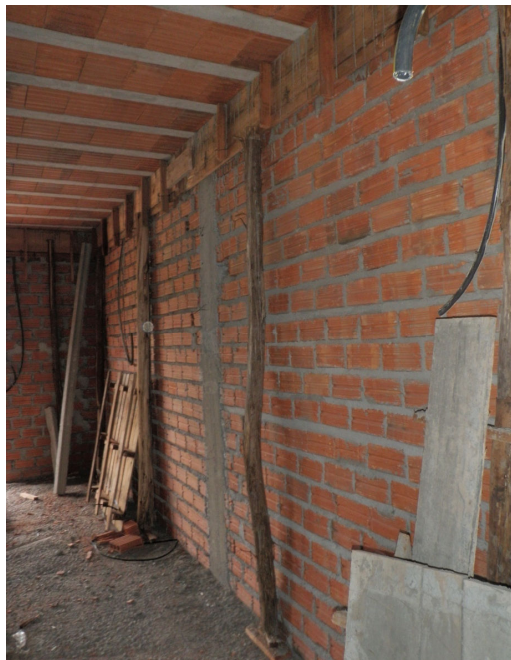


Fonte: Diani Rizzetti Sopelsa

Com consulta no projeto de instalações elétricas são colocadas as tubulações de espera nas lajes e descidas nas vigas para posterior aberturas de canaletas nas paredes.

Após a conferência das ferragens e da integridade, nível e prumo das formas ocorre a concretagem, simultânea, das vigas e lajes. A cura das lajes inicia assim que o concreto atinja resistência superficial para que possa ser molhado. A cura se dá ao longo de 3 dias, durante o horário de trabalho dos funcionários.

Figura 49 - Formas laterais das vigas e a laje treliçada concretadas



Fonte: Diani Rizzetti Sopelsa

A desforma das vigas acontece um dia após a concretagem. Porém a retirada das escoras das lajes acontece em mais de um momento. Algumas escoras começam a ser retiradas, após aproximadamente, 3 dias a concretagem, depois aos 14 dias e totalmente retiradas aos 21 dias, sendo que há o cuidado para retirá-las sempre dos cantos em direção ao centro.

Figura 50 - Viga desformada e laje com as escoras retiradas



Fonte: Diani Rizzetti Sopelsa

7.4 Verga e contraverga

O elemento estrutural de vergas e contravergas é executado concomitantemente à alvenaria de vedação. No caso das vergas é colocado ferros distribuídos na última junta de argamassa da parede, localizada na parte superior das aberturas.

As contravergas são executadas com uma forma de madeira distribuída na parte inferior da alvenaria, com escoramento de madeira, distribuindo argamassa de assentamento com uma espessura aproximada de 2,0 cm e armadura no seu interior.

Figura 51 - Verga de uma porta



Fonte: Diani Rizzetti Sopelsa

Figura 52 - Verga com espessura de 2,0 cm



Fonte: Diani Rizzetti Sopelsa

7.5 Execução das instalações hidrossanitárias e elétricas

Após a conclusão da estrutura e das alvenarias de vedações, inicia-se a execução das instalações elétricas e hidráulicas.

Para a passagem das tubulações de elétrica são deixadas esperas nas vigas. As descidas são executadas através da abertura de rasgos nas paredes, com o uso

de cunhas. Estes rasgos acontecem, tanto na direção vertical como na horizontal. Ainda para a execução das instalações elétricas, as paredes são cortadas para a colocação de centros de distribuição (CD's) nos apartamentos e nos corredores, também são abertos espaços e canaletas, para a colocação de tubulações e caixas de passagem. Nestas áreas são abertos vários rasgos, diminuindo consideravelmente a área de parede.

Figura 53 - Rasgos horizontais e verticais na alvenaria de vedação para instalações elétricas



Fonte: Diani Rizzetti Sopelsa

O mesmo se repete para a execução das instalações hidrossanitárias: as paredes são rasgadas, tanto no sentido vertical como na horizontal para a passagem das instalações. Não são previstos shafts para a descidas dessas instalações, sendo cada apartamento abastecido por tubulações que vem pelo piso e sobem pelas paredes.

Nos corredores são abertos espaços para a colocação dos hidrômetros para medição individual dos apartamentos.

Figura 54 - Rasgos horizontais e verticais na alvenaria de vedação para instalações hidrossanitárias



Fonte: Diani Rizzetti Sopelsa

Figura 55 - Parede com canaletas abertas no sentido horizontal e vertical para instalações elétricas e hidráulicas



Fonte: Diani Rizzetti Sopelsa

8 ANÁLISE DO SISTEMA

Depois de analisar as especificações constantes nas normas técnicas brasileiras e descrever o sistema construtivo em estudo, julgou-se importante traçar uma análise comparativa, tendo como base as orientações das normas e o processo executivo do sistema.

Em primeiro lugar deve-se fazer uma ressalva: o sistema construtivo de concreto armado com vigas apoiadas diretamente na alvenaria de vedação, interagindo com a estrutura não consta em nenhuma norma, tanto a de cálculo, execução quanto a de materiais componentes. Logo conclui-se que, o sistema em questão está fora de normatização brasileira.

Como base nisso será descrito as variáveis encontradas, que estão fora de norma, estas que abrangem tanto material, execução e cálculo.

Uma das principais desconformidades está relacionada ao bloco empregado, pois segundo a NBR 15270-1/2005, os blocos 6 e 9 furos empregados nas obras analisadas são restritos somente a função vedação e não devem resistir a outras solicitações além do peso próprio da alvenaria.

Quando apoiada as vigas, diretamente nas paredes de vedação, estas sofrerão ações além do seu peso próprio, suportando carregamentos advindos do momento da concretagem, e do elemento estrutural.

Além disso, conforme determinação, o elemento estrutural deve ficar escorado até que adquira resistência suficiente para que possa suportar as ações a que estará sujeito. No caso das vigas, elas não tem o escoramento recomendado, sendo que assume a função de escoras a própria parede que a apoia, o que pode ocasionar ações excedentes nas paredes e também levar a solicitações nas vigas, antes que estas tenham a resistência esperada. Isso pode gerar deformações excessivas, tanto nas paredes como nas vigas. Na norma há limites estabelecidos para efeitos dessas deformações em elementos não estruturais.

No que tange a execução das alvenarias de vedação, pode-se observar que, neste sistema, a alvenaria assume função estrutural, já que absorve carregamentos oriundos das vigas. Sendo assim a execução das instalações hidráulicas e elétricas devem ter cuidados especiais, tendo em vista que as paredes estruturais não podem

ser cortadas no sentido horizontal. Com cortes na horizontal as paredes tem sua resistência afetada, do mesmo modo não poderiam ser passadas tubulações que contem fluídos pelo interior dos blocos, como acontece neste sistema, já que são abertas canaletas (tanto no sentido horizontal como vertical), onde são embutidas as instalações hidráulicas.

As instalações elétricas deveriam ser executadas com descidas somente na vertical, e as instalações hidrossanitárias poderiam ser resolvidas com passagem de tubulações pelo piso, forro, externas as paredes e/ou com shafts.

Outra desconformidade é a falta de encunhamento, a norma que trata sobre a execução de obras de concreto armado não elimina sob quaisquer condições a sua execução. A NBR 8545 (1984), diz que, “em obras com estrutura de concreto armado a alvenaria deve ser interrompida abaixo das vigas ou lajes. Este espaço deve ser preenchido após 7 dias, de modo a garantir o perfeito travamento entre a alvenaria e a estrutura”. A mesma norma, estabelece que para edificações com mais de um pavimento, que o encunhamento deve ser executado depois que as alvenarias dos pavimentos imediatamente acima, tenham sido levantados.

O ideal é que esta etapa seja retardada ao máximo, e sempre que possível ter toda a estrutura do prédio já executada, para que assim os elementos estruturais possam sofrer deformações pré-estabelecidas sem causar danos ou patologias as paredes.

Nas obras visitadas, as alvenarias apresentavam várias desconformidades. Dentre elas está o tamanho da junta de argamassa de assentamento, a horizontal variava de 0,7 cm a 3,5 cm e a junta vertical de 0,8 cm a 3 cm. Sabe-se que juntas horizontais com espessuras reduzidas absorvem menos deformações e juntas muito espessas resultam em uma diminuição da resistência mecânica do conjunto e maior consumo de argamassa.

Outro ponto relacionado à junta de assentamento, mais especificadamente à argamassa de assentamento, é o desconhecimento da sua real resistência, pelo fato de ser produzida na própria obra e nestas obras não haver controle tecnológico. Observou-se, nas obras visitadas, a falta de controle sobre sua produção, com o uso de ferramentas inadequadas para dosagem, o que pode levar à proporção errada de cada material estabelecido em traço. Como a parede assume função estrutural, a

resistência à compressão da argamassa de assentamento é algo essencial, já que a mesma é responsável por transmitir as tensões pelos blocos e absorver deformações.

Durante o estudo deste sistema construtivo buscou-se encontrar trabalhos relacionados com o assunto, além da ocorrência de obras na região. O resultado obtido foi o de que quase não há estudos sobre este sistema, mas por outro lado há uma grande constatação de obras que o utilizam. Isso evidencia a execução de obras com um sistema executivo fora de norma e muito pouco estudado, sendo assim, não se sabe ao certo o comportamento que estas edificações podem assumir, e as consequências que podem gerar.

A reforma de edificações que, foram construídas da forma descrita neste trabalho podem gerar patologias e mesmo o colapso do edifício, no caso de se fazerem a retirada de paredes. Isso se dá pelo seguinte fato: a viga foi construída posteriormente à parede e sem o devido encunhamento, fazendo com que a parede que teria somente a função de vedação, interaja com a estrutura e absorva deformações oriundas das vigas. As vigas, por sua vez, quando receberem os carregamentos advindos das cargas permanentes e variáveis, absorverão estes esforços e parte deles serão repassados para as paredes. Se retirada a parede a viga terá que absorver sozinha e de uma só vez o todo o carregamento a que está sujeita, e como desde a sua construção nunca havia sofrido tal solicitação pode entrar em colapso.

Isso pode ter sido o que aconteceu no Edifício liberdade no Rio de Janeiro. Há uma possibilidade de que a retirada de uma parede, fez como que acontecesse o processo descrito acima, levando o edifício ao colapso. No entanto, sabe-se que existem mais fatores, e mais possibilidades, que poderiam ter levado o edifício ao colapso.

Ao se construir com concreto armado, a estrutura do prédio recebe os carregamentos, conforme as etapas de construção e nunca recebem de uma só vez todo o carregamento que estará imposto durante a vida útil da edificação.

O que notou-se também, foi que as obras visitadas tinham pouco acompanhamento técnico. Em uma delas, não havia visitas do engenheiro responsável pela execução.

Sperotto (2009) cita como uma das vantagens do sistema a parte de segurança da obra, tendo em vista que, pela parede ser erguida juntamente com a estrutura, em algumas etapas, é dispensada a construção de guarda-corpos, corrimões e telas de proteção na obra. Outro ponto positivo comentado pelo autor é a dispensa de encunhamento, e conseqüente diminuição de tempo de ciclo de construção de cada pavimento.

Além do mais, Sperotto (2009) defende que construções que utilizam este sistema, tem diminuição nas manifestações patológicas na interface da viga/parede e pilar/parede.

CONCLUSÃO

Uma das motivações do desenvolvimento deste trabalho foi o desabamento do edifício Liberdade no Rio de Janeiro no início de 2012, sendo apontada como uma das possíveis causas, o sistema construtivo utilizado na época de construção, onde as vigas são apoiadas diretamente nas paredes de vedação, sem o devido encunhamento. Para conclusões mais exatas buscou-se obter o laudo pericial com as conclusões a cerca da causa ou das causas do desabamento, o que acabou não acontecendo. Apesar de obter-se informações relevantes da evolução do caso, tais como um parecer técnico de um engenheiro contratado pela empresa que desenvolvia reformas no 9º andar e foi acusada de ter causado o desabamento, não se teve acesso ao lado pericial das investigações.

Mesmo assim, com a constatação de obras no estado do Rio Grande do Sul, foi possível desenvolver este trabalho e chegar a conclusões a cerca do sistema construtivo estudado.

Quando uma edificação é construída com vigas sendo apoiadas nas paredes de vedação, sem o devido encunhamento, se faz uma mistura de dois sistemas construtivos: alvenaria estrutural e estruturas de concreto armado com alvenaria de vedação. Sendo que em nenhuma norma técnica brasileira há citações do referido sistema. Temos especificações de cada sistema individualmente, o que nos leva a concluir que, construir dessa maneira é algo não recomendável, por não ter normatização.

Edificações construídas dessa maneira não podem ser consideradas alvenaria estrutural por vários motivos, sendo os principais:

- 1) Bloco utilizado no sistema é restrito ao uso em alvenarias de vedação, sendo que deve suportar somente o peso próprio da parede;
- 2) Ausência de cálculo estrutural de alvenaria estrutural: para o cálculo estrutural de alvenaria estrutural um dos condicionantes principais é o módulo de deformação do bloco. No caso de alvenarias construídas com blocos de vedação, não há estudos para a determinação desse parâmetro, logo não há como chegar a valores confiáveis de resistência da parede, e assim sendo, não temos como determinar, se

as solicitações impostas pela viga nas paredes, estão dentro do limite de resistência da mesma;

- 3) Desconhecimento de controle de resistência da argamassa de assentamento;
- 4) No sistema de alvenaria estrutural não são previstos pilares e vigas, há somente uma cinta superior, construída com blocos canaletas, graute e armaduras;
- 5) Construções que utilizam o sistema de alvenaria estrutural não podem ter cortes na direção horizontal dos blocos. No sistema em estudo os blocos são cortados na direção horizontal para a contemplação das instalações.

Da mesma forma não podemos considerar o sistema como sendo concreto armado pelos seguintes fatores:

- 1) No sistema de concreto armado a estrutura deve ser construída anteriormente às paredes de vedação
- 2) Devem ser respeitados prazos para a execução da alvenaria e encunhamento após a conclusão da execução da estrutura;
- 3) Entre a parede e a estrutura deve ser deixado um espaço, no qual se realizará o devido encunhamento, com materiais flexíveis, sendo que o ideal seria concluir as alvenarias de todos os pavimentos, para posteriormente se realizar o encunhamento;
- 4) A parede não pode servir como escoramento até que as vigas tenham resistência suficiente para absorver os carregamentos a que são destinadas;

Sendo assim conclui-se que, o sistema construtivo estudado não é recomendado, tendo como principais motivos a falta de normatização e os riscos estruturais, quando da retirada de paredes, para contemplar reformas e modificações na layout original da edificação.

BIBLIOGRAFIA

ARCARI, Andrey. *Alvenaria estrutural e estrutura apertada de concreto armado: estudo comparativo de custos para execução de empreendimento habitacional de interesse social*. 2010. 76 f. TCC (trabalho de conclusão de curso) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento*. Rio de Janeiro, 2007

_____. *NBR 6136: Blocos de concreto vazados simples para alvenaria- requisitos*. Rio de Janeiro, 2007.

_____. *NBR 8545: Execução de alvenaria sem função estrutural de tijolos e blocos cerâmicos - Procedimento*. Rio de Janeiro, 1984

_____. *NBR 14931: Execução de estruturas de concreto: procedimento*. Rio de Janeiro, 2004.

_____. *NBR 15270-1: Componentes cerâmicos - Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação — Terminologia e requisitos*. Rio de Janeiro, 2005.

_____. *NBR 15812-1: Alvenaria estrutural - Blocos cerâmicos - Parte 1: Projetos*, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *A importância da normalização*. Disponível em: <<http://www.abnt.org.br/cb24/importancia.htm>>. Acesso em: 28 set. 2012.

AZEREDO, Hélio Alves de. *O edifício até sua cobertura*. 2. Ed. São Paulo: Edgard Blücher LTDA, 1997.

BORGES, Alberto Nogueira. *Curso prático em concreto armado*. 2. Ed. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 2007.

CARVALHO, Eduardo. *Concreto armado sustentava prédio que caiu; conheça técnica e riscos*. Portal G1, São Paulo, jan. 2012. Disponível em: <<http://g1.globo.com/rio-de-janeiro/noticia/2012/01/concreto-armado-sustentava-predio-que-caiu-conheca-tecnica-e-riscos.html>>. Acesso em: 10 abri. 2012.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. *Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118:2003*. 3. Ed. São Carlos: EdUFSCar, 2009

CLÍMACO, João Carlos Teatini de Souza. *Estruturas de Concreto Armado: Fundamentos de Projeto, dimensionamento e verificação*. 2. Ed. Brasília: Finatec, 2008.

COÊLHO, Ronaldo Sérgio de Araújo. *Alvenaria Estrutural*. São Luis: UEMA, 1998.

GOMIDE, Tito Lívio Ferreira; LIPORONI, Antonio Sergio; FERRARI NETO, Alcides. *Ruptura de alvenaria por deformação estrutural*. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS, 20-- ?, Belo Horizonte.: IBAPE.

GRAZIANO, Francisco Paulo. *Projeto e execução de estruturas de concreto armado*. São Paulo: O Nome da Rosa, 2005.

GUERRIN, A. *Tratado de Concreto Armado*. 6 v. São Paulo: Hemus, 1987.

LAPA, Manoel. *Um caso inédito*. Jornal do Clube de Engenharia. Rio de Janeiro, fev.2012. Disponível em: <<http://www.portalclubedeengenharia.org.br/arquivo/1342451404.pdf/documentos>>. Acesso em: 28 out. 2012.

LORDSLEEM JR, Alberto Casado. *Execução e inspeção de alvenaria racionalizada*. 2 ed. São Paulo: O Nome da Rosa, 2001.

MANZIONE, Leonardo. *Projeto e execução de alvenaria estrutural*. 2. Ed. São Paulo: O Nome da Rosa, 2007.

MEDEIROS, Heloisa. *Construção Crítica*. Revista Técnica, São Paulo, ano 13, ed. 99, jun 2005.

NASCIMENTO, Otavio Luiz do. *Alvenarias*. Rio de Janeiro: Centro Brasileiro da Construção em aço, [200-]. (Manual de construção em aço)

PARSEKIAN, Guilherme Aris. SOARES, Márcia Melo. *Alvenaria estrutural em blocos cerâmicos: projeto, execução e controle*. São Paulo: O Nome da Rosa, 2010.

PARSEKIAN, Guilherme Aris. *Parâmetros de projeto de alvenaria estrutural com blocos de concreto*. São Carlos : EdUFSCar, 2012.

RAMALHO, Marcio. *Projeto de edifícios de alvenaria estrutural*. São Paulo: Pini, 2003.

ROMAN, Humberto Ramos; MUTTI, Cristine do Nascimento; ARAÚJO, Hércules Nunes de. *Construindo em alvenaria estrutural*. Florianópolis: Ed. Da UFSC, 1999.

RITTO, Cecília. *Operários confirmam derrubada de paredes estruturais do Edifício Liberdade*. Veja acervo digital, Rio de Janeiro, abri. 2012. Disponível em:

<<http://veja.abril.com.br/noticia/brasil/operarios-confirmam-derrubada-de-paredes-estruturais-do-edificio-liberdade>>. Acesso em: 10 abri. 2012.

SOUZA, Roberto de; MEKBKIAN, Geraldo. *Qualidade na aquisição de materiais e execução de obras*. São Paulo: Pini, 1996.

SPEROTTO, Jullion Nicolas. *Edificações multifamiliares sem dispositivo de ligação auperior alvenaria-estrutura: análise do sistema construtivo*. 2009. 85 f. TCC (trabalho de conclusão de curso) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre 2009.

TAMAKI, Luciana. *Prédio que caiu no Rio de Janeiro teve paredes estruturais derrubadas*. Pini Web, São Paulo, abr. 2012. Disponível em: <http://www.piniweb.com.br/construcao/tecnologia-materiais/predio-que-caiu-no-rio-de-janeiro-teve-paredes-estruturais-255614-1.asp>. Acesso em: 16 abr. 2012.

THOMAZ, Ercio. et al. *Código de práticas nº 01: alvenaria de vedação em blocos cerâmicos*. São Paulo: IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2009.

THOMAZ, Ercio. *Tecnologia, gerenciamento e qualidade na construção*. São Paulo: Pini, 2001.

VALLE, Juliana Borges de Senna. *Patologia das alvenarias: causa / diagnóstico / previsibilidade*. 2008. 81 f. Monografia - Universidade Federal de Minas Gerais Escola de Engenharia, Belo Horizonte 2008.