



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

THAÍS ALESSANDRA DE MENEZES BARBOSA

**ALVENARIA COM BLOCOS CERÂMICOS DE VEDAÇÃO EM ESTRUTURAS
METÁLICAS NO MUNICÍPIO DE CARUARU – PE –UM ESTUDO DE CASO**

Caruaru
2018

THAÍS ALESSANDRA DE MENEZES BARBOSA

ALVENARIA COM BLOCOS CERÂMICOS DE VEDAÇÃO EM ESTRUTURAS
METÁLICAS NO MUNICÍPIO DE CARUARU – PE – UM ESTUDO DE CASO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
do Centro Acadêmico do Agreste - CAA,
da Universidade Federal de Pernambuco -
UFPE, como requisito para a disciplina
Trabalho de Conclusão de Curso II.

Área de concentração: Construção Civil.
Orientador: Prof. Dr. Flávio Eduardo G. Diniz

Caruaru

2018

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Simone Xavier - CRB/4 - 1242

B238a Barbosa, Thaís Alessandra de Menezes.
 Alvenaria com blocos cerâmicos de vedação em estruturas metálicas no município de
Caruaru – PE – um estudo de caso. / Thaís Alessandra de Menezes Barbosa. – 2018.
73 f. il. : 30 cm.

 Orientador: Flávio Eduardo Gomes Diniz.
 Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de
Pernambuco, CAA, Engenharia Civil, 2018.
 Inclui Referências.

 1. Interfaces. 2. Alvenaria. 3. Estruturas metálicas. 4. Patologia. 5. Falhas
estruturais. I. Diniz, Flávio Eduardo Gomes (Orientador). II. Título.

CDD 620 (23. ed.)

UFPE (CAA 2018-424)

THAÍS ALESSANDRA DE MENEZES BARBOSA

ALVENARIA COM BLOCOS CERÂMICOS DE VEDAÇÃO EM ESTRUTURAS
METÁLICAS NO MUNICÍPIO DE CARUARU – PE – UM ESTUDO DE CASO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil do Centro Acadêmico do Agreste - CAA, da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, como requisito para a disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II, e requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Civil.

Área de concentração: Construção Civil.
Orientador: Prof. Dr. Flávio Eduardo G. Diniz

Aprovado em: 28/11/2018.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Flávio Eduardo Gomes Diniz (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

Prof^a.Dr^a Ana Cecília Vieira da Nóbrega (Examinador 1)
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

Prof^a. Dr^a. Marília Neves Marinho (Examinador 2)
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

Prof. Dr. Elder Alpes de Vasconcelos (Coordenador da Disciplina)
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

A meus pais.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelas bênçãos a mim concedidas, por iluminar meu caminho e dar forças para continuar em busca dos meus sonhos e objetivos. Toda gratidão e amor à meus pais, que sempre estiveram presentes sendo incentivadores, apoiadores e contribuíram com todo amor e força para que eu pudesse conquistar o sonho da formação acadêmica, e pela compreensão nos momentos que precisei estar ausente para estudar.

Agradeço também a meus irmãos e a meu namorado, que também dividiram todos os momentos dessa caminhada, proporcionando apoio e momentos de descontração tornando a caminhada mais leve, obrigada por tudo.

Aos docentes que contribuíram para minha formação profissional, compartilhando seus conhecimentos e apoio, meu muito obrigado, principalmente ao meu professor orientador Dr. Flávio Eduardo G. Diniz que acreditou na minha proposta e me guiou para o êxito do trabalho. Aos colegas e amigos que estiveram sempre dispostos a apoiar uns aos outros nessa caminhada da graduação, obrigada.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram para a realização deste trabalho de alguma forma e apoiaram a ideia, cada um sabe o quanto contribuiu e o quanto sou grata por isso.

RESUMO

A vinculação existente na interface entre a estrutura metálica e a alvenaria convencional com blocos cerâmicos é de suma importância para o bom ou mau desempenho do sistema construtivo como um todo. Com o objetivo de verificar a existência de patologias, principalmente fissuras, e obter informações sobre os fatores influenciadores na escolha da vinculação, bem como os cuidados na execução que levam ao bom desempenho da vinculação, foi feita uma pesquisa bibliográfica acerca do assunto e feito um estudo de caso, na cidade de Caruaru – PE, o qual adota o sistema construtivo em questão, onde é utilizada estrutura metálica ligada à alvenaria de vedação em blocos cerâmicos, e onde foi feito um acompanhamento da construção e visita ao local após 3 anos de sua execução. Os resultados da análise indicam que para o bom desempenho do sistema é preciso ter o devido cuidado e atenção em todos os bordos da alvenaria em que há o contato com a estrutura metálica.

Palavras-chave: Interface. Alvenaria. Estrutura metálica. Patologias. Fissuras.

ABSTRACT

The bonding existing at the interface between the metallic structure and the conventional masonry with ceramic blocks is of paramount importance for the good or poor performance of the construction system as a whole. In order to verify the existence of pathologies, mainly fissures, and to obtain information about the influencing factors in the choice of the linkage, as well as the care in the execution that lead to the good performance of the linkage, a bibliographic research was done about the subject and made a a case study in the city of Caruaru - PE, which adopts the constructive system in question, where metal structure attached to masonry of ceramic block fence is used, and a follow up of the construction and site visit after 3 years of construction. execution. The results of the analysis indicate that for the good performance of the system it is necessary to have the due care and attention in all edges of the masonry in which there is the contact with the metallic structure.

Keywords: Interface. Mansonry. Metal structure. Pathologies. Fissures.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Características exigidas para os blocos cerâmicos de vedação.	17
Tabela 2 - Resistência ao arrancamento em cada sistema	33
Tabela 3- Tamanhos das telas de acordo com a largura do bloco	34
Tabela 4 - Módulo de deformação por tipo de alvenaria.....	37
Tabela 5 - Possíveis causas do aparecimento de fissuras na alvenaria ligada à estrutura metálica.....	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-	Representação dos blocos cerâmicos de vedação.	17
Figura 2 -	Classificação da alvenaria quanto ao número de ligações.	20
Figura 3-	Perfis soldados e laminados.	21
Figura 4-	Perfis dobrados.	22
Figura 5 -	Produção de estruturas de aço (toneladas/ano).	25
Figura 6 -	Alvenaria desvinculada com uso de placa de EPS e perfil U.	28
Figura 7 -	Alvenaria vinculada com tela eletrossoldada.	28
Figura 8 -	Alvenaria vinculada com gancho de fixação.	29
Figura 9 -	Alvenaria vinculada com estribo de fixação.	29
Figura 10 -	Sistema de encunhamento para ligação rígida.	30
Figura 11 -	Ligação alvenaria-viga para sistema semi-rígido.	31
Figura 12 -	Ligação alvenaria-viga para sistemas deformáveis.	32
Figura 13 -	Uso de placa de EPS e Cantoneira na ligação Alvenaria-Viga	32
Figura 14 -	Aplicação de argamassa polimérica colante, com desempenadeira	34
Figura 15-	Destacamento entre alvenaria e estrutura, provocado por movimentações térmicas diferenciadas.	40
Figura 16-	Fissuras em parede de vedação onde a viga suporte se deforma mais que a viga superior.	40
Figura 17-	Fissuras em parede de vedação quando a deformação da viga suporte é menor que a deformação da viga superior.	41
Figura 18-	Fissuras em parede de vedação onde a deformação da viga suporte é semelhante à deformação da viga superior.	41
Figura 19-	Mudança da argamassa com a adição de polímero acrílico.	45
Figura 20 -	Detalhe de preenchimento de perfil metálico	46
Figura 21-	Detalhe de utilização de tela de pvc e argamassa colante.	47
Figura 22-	Reforço em vigas revestidas	48
Figura 23-	Reforço em pilares revestidos.	48
Figura 24-	Reforço de revestimento em regiões de cintas, pilaretes e/ou onde haja embutimento de tubulações	49
Figura 25-	Viga metálica aparente com mastique	50
Figura 26-	Viga metálica com pintura elastomérica e mastique	51
Figura 27-	Viga metálica com pintura elastomérica.	51

Figura 28- Pilar metálico com alvenaria ligada à alma do perfil.....	52
Figura 29- Pilar metálico com alvenaria ligada à mesa do perfil	52
Figura 30 - Laje mista Steel Deck.	53
Figura 31- Mapa estadual, macrolocalização.	55
Figura 32 - Fluxograma das etapas do estudo.	56
Figura 33- Ligação entre alvenaria-pilar na edificação.	59
Figura 34- Alvenaria superior executada antes da ligação da viga com a alvenaria inferior ..	60
Figura 35- Alvenaria superior construída antes da execução da ligação da viga com a alvenaria inferior - outra vista	60
Figura 36 - Planta baixa do local cuja estrutura foi analisada.	61
Figura 37- Fissura presente na região de encontro da viga com a alvenaria	62
Figura 38- Intersecção de alvenaria na mesa do pilar	63
Figura 39- Intersecção de alvenaria na alma do pilar	64
Figura 40- Intersecção de alvenaria na mesa do pilar, com presença de pequena fissura.....	65
Figura 41- Situação do pilar anterior, visto mais de perto	66
Figura 42- Fissura percebida na região de pilar não aparente	67
Figura 43- Destacamento de reboco em encontro de alvenarias de duas direções.....	67

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	JUSTIFICATIVA	14
3	MOTIVAÇÃO	15
4	OBJETIVOS	15
4.1	Objetivos gerais	15
4.2	Objetivos específicos	15
5	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
5.1	Conceitos sobre alvenaria	16
5.1.1	<i>Blocos cerâmicos</i>	16
5.2	Estrutura metálica	20
5.2.1	<i>Histórico e definições técnicas</i>	20
5.2.1.1	<i>Estrutura metálica e construção</i>	22
5.3	Associação dos dois materiais	26
5.3.1	<i>Vinculações</i>	26
5.3.2	<i>Ligação alvenaria-pilar</i>	27
5.3.3	<i>Ligação alvenaria-viga</i>	30
5.3.3.1	<i>Ligação alvenaria-viga para sistema rígido</i>	30
5.3.3.2	<i>Ligação alvenaria-viga para sistema semi-rígido</i>	31
5.3.3.4	<i>Aspecto construtivo das juntas</i>	32
5.4	Considerações na escolha da ligação	33
5.4.1	<i>Execução e montagem da alvenaria</i>	33
5.5	Patologias	35
5.5.1	<i>Conceitos</i>	36
5.5.2	<i>Classificação</i>	36
5.5.3	<i>Análise de fissuras</i>	38
5.5.3.1	<i>Fissuras causadas por movimentações térmicas</i>	39

5.5.3.2	<i>Fissuras causadas por deformabilidade excessiva da estrutura</i>	40
5.5.4	<i>Tabela resumo de possíveis patologias: Causas x Consequências</i>	42
5.6	Requisitos de desempenho para sistemas de vedação vertical segundo a ABNT NBR:15575-4:2013	42
5.7	Sistema de revestimento	44
5.7.1	<i>Estrutura metálica revestida</i>	44
5.7.2	<i>Estrutura metálica aparente</i>	49
5.8	Laje Steel Deck	53
5.8.1	<i>Definição</i>	53
5.8.2	<i>Vantagens e Desvantagens</i>	54
6	METODOLOGIA	55
6.1	Descrição das etapas adotadas para o desenvolvimento da pesquisa	56
7	RESULTADOS E DISCUSSÕES	58
7.1	Caracterização da edificação	58
7.2	Caracterização da estrutura	58
7.3	Aspectos de execução da alvenaria – Ligação entre alvenaria e estrutura	58
7.4	Situação atual do sistema construtivo	61
8	CONCLUSÕES	69
8.1	Conclusões gerais	69
8.2	Sugestões para trabalhos futuros	70
	REFERÊNCIAS	71

1 INTRODUÇÃO

A estrutura metálica tem conquistado seu espaço no mercado da construção brasileira. Antes era vista como um produto caro e exclusivo, agora já compete de igual para igual com outras técnicas construtivas. Apesar de sua aplicação ser relativamente nova aqui no Brasil, a estrutura metálica é utilizada desde o século XVIII, em países da Europa e nos Estados Unidos. Hoje em dia, o mercado da construção civil é com certeza um dos maiores clientes das indústrias de aço. Por se tratar de elementos industrializados é fácil garantir um bom índice de qualidade (DALDEGAN, 2018).

Além disso, a utilização de mão de obra especializada colabora para uma construção sem improvisações e com maior rigor ao ser projetado. O visual estético moderno e marcante é apenas um dos inúmeros motivos para que a construção civil seja o maior mercado para os produtores mundiais de aço. Dentre as inúmeras vantagens na utilização desse material em sistemas construtivos, estão a racionalização da mão de obra e dos materiais, a redução do tempo de construção e o aumento da produtividade.

O Brasil possui uma cultura bastante difundida para o uso da alvenaria tradicional como principal componente de vedação interna e externa das edificações. Com o uso cada vez maior do aço como material da estrutura, sente-se a necessidade de um maior conhecimento da utilização da alvenaria diretamente nessa estrutura, uma vez que o concreto armado sempre foi a base para tudo.

A aceitação do aço se dá, sobretudo, pelo uso de estruturas prontas. A construção metálica vem crescendo entre 30% e 50% mais que as obras com concreto nos últimos cinco anos no país. Na Arcelor Mittal, a estrutura metálica cresce 30% mais que o concreto armado. E nos próximos cinco anos, a tendência é que a construção com estrutura metálica continue crescendo, e só depois se estabilizará (CBCA, 2015).

A pouca resistência que ainda persiste para a substituição do concreto pelo aço não se justifica mais pelo preço, já que as reduções do tempo e da mão de obra compensam a diferença. O que prevalece é uma cultura pelo concreto armado que vem das escolas de engenharia do país. A disputa entre aço e concreto também divide países europeus: na Alemanha, cerca de 80% das construções de edifícios e pontes são feitas com aço; na França 80% são de concreto (CBCA, 2015).

Os dados indicam que o Brasil está mais próximo dos conservadores franceses que dos ingleses. Mas tanto lá fora como aqui, as siderúrgicas preocupam-se principalmente em ressaltar as vantagens do aço. Quando se pensa em aço, se pensa em uma obra inovadora,

moderna, reciclável e durável. A construção metálica agrega redução de tempo do empreendimento, mão de obra especializada, racionalização no uso de materiais e aumento da produtividade no canteiro. Outro benefício é a redução do cronograma de entrega, o que permite antecipar o uso do imóvel (CBCA, 2015).

Como o próprio nome sugere, o objetivo da alvenaria de vedação é fechar a estrutura da obra entre colunas e vigas sem contribuir de forma direta para a estrutura do projeto. Segundo Sabbatini (2001), a alvenaria de vedação tradicional tem como principal vantagem a boa relação custo-benefício dentre os outros materiais para vedação existentes, é um material de construção econômico considerando-se os investimentos iniciais e de manutenção. Além dessa característica fundamental, esta alvenaria se caracteriza também por outros benefícios como: boa a excelente durabilidade (excelente resistência a agentes agressivos); excelente comportamento frente à ação do fogo (resistência, incombustibilidade); bom desempenho térmico; boa estanqueidade à água (quando revestida); facilidade de composição de elementos de qualquer forma e dimensão; não tem limitações de uso em relação às condições ambientais; e se necessário, pode ser 100% reaproveitável.

Uma característica mecânica importante do bloco cerâmico é sua resistência à tração. Apesar de na alvenaria atuar predominantemente esforços de compressão, podem surgir tensões de tração nos blocos, tornando importante a determinação da sua resistência à tração (SALEMA, 2017).

Mesmo com diversas vantagens na utilização de ambos materiais na Construção Civil, um item bastante importante é a união dos dois, de forma segura e duradoura, o que será discutido adiante.

2 JUSTIFICATIVA

No Brasil, a utilização da alvenaria tradicional de blocos cerâmicos furados como vedação de estruturas ainda é preponderante. Em contrapartida, está havendo também um aumento da utilização de estruturas de aço nas construções, que vem junto com sistemas construtivos inovadores ou a necessidade de adaptação de sistemas já existentes. Como o sistema de vedação é extremamente importante dentro do processo construtivo, cria-se a necessidade de um maior conhecimento na utilização da alvenaria diretamente nesse tipo de estrutura.

3 MOTIVAÇÃO

Acompanhando o cenário nacional, o crescimento das construções utilizando estrutura metálica incorporada à alvenaria tradicional de blocos cerâmicos como vedação se faz presente na cidade de Caruaru – PE, sendo de suma importância seu estudo para melhor executá-lo e difundir esse conhecimento com os estudantes de Engenharia Civil, Engenheiros e Empresários da região, que atuam nas diversas áreas da construção.

A conhecida alvenaria continua a ser tratada como um elemento simples e sem tecnologia, executada com a “técnica tradicional” existente, mas para o uso tratado neste trabalho, exige conhecimentos específicos, como os possíveis tipos de amarração da alvenaria na estrutura metálica.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivos gerais

Observação do desempenho de alvenaria de vedação com blocos cerâmicos de 8 furos em Estrutura Metálica no município de Caruaru – PE, com estudo de caso.

4.2 Objetivos específicos

- Avaliação de manifestações patológicas (fissuras) na região de interseção dos materiais;
- Identificação de suas possíveis causas e origens, bem como ações preventivas;
- Verificação da presença de fissuras na interseção alvenaria – pilar e alvenaria – viga em edificação localizada na Avenida Agamenon Magalhães, em Caruaru – PE, a qual utilizou o modelo construtivo em questão.

5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1 Conceitos sobre alvenaria

Entende-se por alvenaria a associação de um conjunto de unidades de alvenaria (tijolos, blocos, pedras, etc.) e ligantes que resulta num material que possui propriedades mecânicas intrínsecas, capaz de constituir elementos estruturais. (VALLE, 2008).

Segundo Nascimento (2004), a principal função de uma alvenaria é de estabelecer a separação entre ambientes, e principalmente a alvenaria externa que tem a responsabilidade de separar o ambiente externo do interno e para cumprir esta função deverá atuar sempre como freio, barreira e filtro seletivo, controlando uma série de ações e movimentos complexos quase sempre muito heterogêneos. O mesmo cita também algumas propriedades das alvenarias:

- Resistência à umidade e aos movimentos térmicos;
- Resistência à pressão do vento;
- Isolamento térmico e acústico;
- Resistência à infiltrações de água pluvial;
- Controle da migração de vapor de água e regulação da condensação;
- Base ou substrato para revestimentos em geral;
- Segurança para usuários e ocupantes;
- Adequar e dividir ambientes.

O mesmo autor define alvenaria de vedação como sendo as montagens de elementos destinados à separação de ambientes, sendo “de vedação” apenas por trabalhar no fechamento de áreas sob estruturas, sendo necessários cuidados básicos para seu dimensionamento e estabilidade. Devem ser previstas dilatações diferenciais destes elementos, bem como a análise global das deformações (principalmente flecha) das estruturas, que geralmente interferem nas alvenarias.

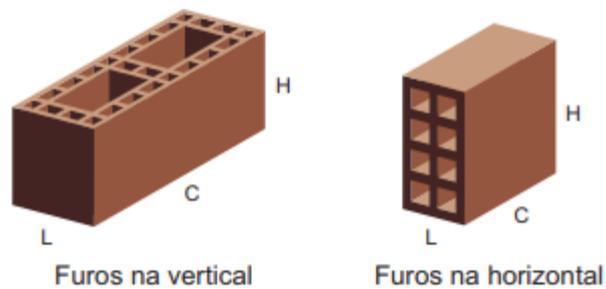
5.1.1 Blocos cerâmicos

Dentre outros tipos de bloco, o bloco cerâmico possui melhores características térmicas e acústicas. É mais leve e tem dimensões menores que o bloco de concreto. Porém, sua resistência à compressão também é menor. É fabricado basicamente com argila, conformado por extrusão e queimado a uma temperatura que permita ao produto final atender

as condições determinadas em norma. Devido ao menor peso, apresentam maior produtividade na execução das paredes, ou seja, o número de blocos cerâmicos assentados num espaço de tempo é maior que o de blocos de concreto, porém, como os blocos cerâmicos são menores, necessitam de um maior número de blocos para executar a mesma parede, além de serem mais frágeis que os blocos de concreto, necessitando maior cuidado no transporte dentro e fora do canteiro de obras (PEREIRA, 2018).

Os blocos cerâmicos utilizados na execução das alvenarias de vedação, com ou sem revestimentos, devem atender à norma NBR 15270-1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação — Terminologia e requisitos, a qual, além de definir termos, fixa os requisitos dimensionais, físicos e mecânicos exigíveis no recebimento (THOMAS et.al, 2009). Consideram-se dois tipos de blocos quanto ao direcionamento de seus furos prismáticos, conforme ilustrado na figura a seguir:

Figura 1- Representação dos blocos cerâmicos de vedação.



Fonte: Thomas et.al (2009).

As dimensões de fabricação (largura - L, altura - H e comprimento - C) devem ser correspondentes a múltiplos e submúltiplos do módulo dimensional $M = 10 \text{ cm}$ menos 1 cm, conforme dimensões padronizadas pela NBR 15270-1.

As características que os blocos cerâmicos de vedação devem apresentar, de acordo com a norma NBR 15270-1, são resumidas na Tabela 1 a seguir:

Tabela 1- Características exigidas para os blocos cerâmicos de vedação.

Características visuais	Não apresentar quebras, superfícies irregulares ou deformações
Forma	Prisma reto
Tolerância dimensional individual relacionada à dimensão efetiva	$\pm 5 \text{ mm}$ (largura, altura ou comprimento)

Tolerância dimensional relacionada à média das dimensões efetivas	± 3 mm (largura, altura ou comprimento)
Espessura das paredes internas dos blocos	≥ 6 mm
Espessura das paredes externas dos blocos	≥ 7 mm
Desvio em relação ao esquadro	≤ 3 mm
Planeza das faces	Flecha ≤ 3 mm
Resistência à compressão (área bruta)	$\geq 1,5$ Mpa (para furos na horizontal) $\geq 3,0$ Mpa (para furos na vertical)

Fonte: Thomas et.al (2009).

As características apresentadas na Tabela 1 devem ser verificadas para os blocos cerâmicos conforme os procedimentos de ensaios definidos na norma NBR15270-3. Com a finalidade de caracterização e aceitação ou rejeição dos blocos cerâmicos, essa norma descreve os métodos de ensaios para a avaliação de conformidade dos mesmos, incluindo a determinação de suas características geométricas, físicas e mecânicas.

Alguns aspectos culturais dão pistas sobre os porquês da opção por sistemas de alvenaria tradicionais, mesmo quando se utilizam estruturas de elevado rigor industrial. No Brasil, encontram-se exemplos de edifícios nos quais se utilizam perfis de aço laminado, de alta tecnologia produtiva, ligados diretamente a paredes de alvenaria de blocos cerâmicos. Certas limitações dessa prática são evidentes e, no centro da discussão, estão as formas de ligação entre os sistemas de vedação e os sistemas estruturais. Beall (1997) menciona a questão ao analisar a associação entre o detalhamento de estruturas e de sistemas de alvenaria. Para a autora, a aproximação entre os procedimentos de detalhamento tem reflexo direto na eficácia das ligações. Além da sinergia entre as informações, a aproximação das práticas conduz também à sinergia entre soluções.

5.1.2 Classificação das alvenarias

A classificação das alvenarias torna-se necessária para a perfeita utilização dos recursos disponíveis no sistema de dimensionamento, prevendo principalmente os sistemas de fixação em função dos vãos (NASCIMENTO, 2004).

5.1.2.1 De acordo com a função

De acordo com a função, Nascimento (2004) classifica as alvenarias da seguinte forma:

- Alvenaria com função estrutural;
- Alvenaria sem função estrutural (vedação);
- Alvenarias divisórias de bordo livre (muros, platibandas, etc...);
- Alvenarias especiais (acústica, térmica, impactos, etc.)

5.1.2.2 De acordo com a vinculação

Segundo Coelho (2007), as alvenarias também podem ser classificadas de acordo com a vinculação, onde tem-se as alvenarias vinculadas e as desvinculadas:

- Alvenarias desvinculadas são paredes fixadas à estrutura por meio de sistemas que permitem pequenas movimentações diferenciais segundo seu plano. São empregadas em obras com grandes vãos, acima de 5 ou 6 metros, geralmente comerciais e industriais. Utilizam-se duas cantoneiras paralelas ou um perfil "U", gerando sistema de encaixe da alvenaria que impede apenas movimentos transversais ao seu plano. Na junção entre a parede e o sistema de fixação formam-se juntas de movimento, incorporadas ao acabamento final. É um sistema com alto grau de confiabilidade que reduz significativamente o nível de patologias.
- Alvenarias vinculadas são paredes unidas solidariamente à estrutura, trabalhando em conjunto, sendo mais utilizadas em edifícios com pequenos vãos (até 5 m aproximadamente), e destinados ao uso residencial ou salas comerciais, onde o emprego de juntas não é esteticamente ideal. Nas ligações alvenaria-estrutura são empregadas barras de aço tipo estribo, denominadas ferro-cabelo, soldadas à estrutura. Preferencialmente, devem ser empregados segmentos de telas eletrossoldadas. Esse tipo de parede trabalha em conjunto com a estrutura, aumentando sua rigidez. Em situações especiais, podem ser eliminados os elementos de contraventamento metálico, transferindo os esforços para as paredes. Neste caso, devem ser consideradas como elementos estruturais.

5.1.2.3 De acordo com o número de ligações

Classificação quanto ao número de ligações:

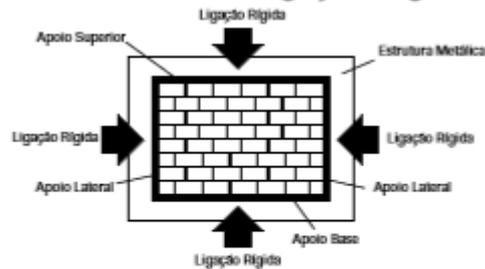
- Sistema rígido – 4 ligações rígidas;
- Sistema semi-rígido – 3 ligações rígidas;

- Sistema deformável – 1 ligação rígida.

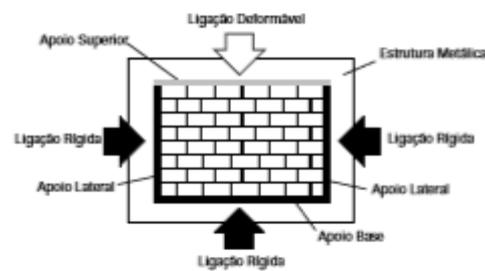
Na Figura 2 a seguir estão ilustradas estas classificações:

Figura 2 - Classificação da alvenaria quanto ao número de ligações.

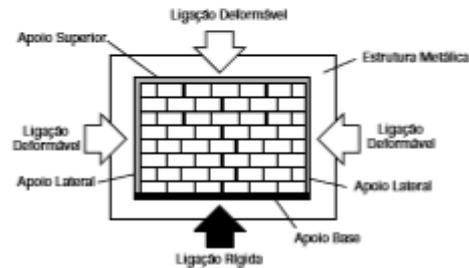
- Alvenaria com 4 ligações rígidas:



- Alvenaria com 3 ligações rígidas:



- Alvenaria com 1 ligação rígida:



Fonte: Nascimento (2004).

Neste trabalho, será dada ênfase na alvenaria de vedação, que é uma alvenaria sem função estrutural, dimensionada para resistir às ações de seu próprio peso e cargas de ocupação como armários, prateleiras, redes de dormir, etc., e é responsável pelo fechamento da edificação e também pela compartimentação dos ambientes internos.

5.2 Estrutura metálica

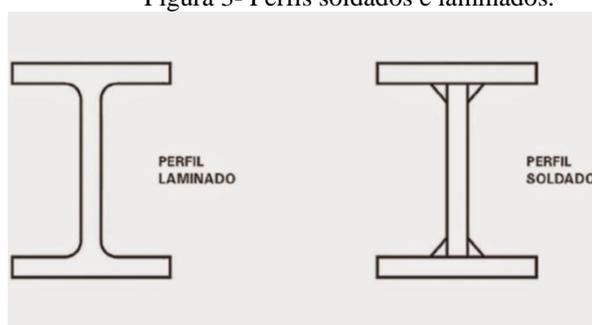
5.2.1 Histórico e definições técnicas

O uso do aço na construção civil sempre foi associado à inovação e modernidade. A primeira vez que ele foi empregado de forma industrial foi no século XVIII, na construção da ponte sobre o Rio Severn, na Inglaterra. A partir daí, foi provado que era possível levantar grandes estruturas com um material mais leve e resistente. Um dos maiores exemplos dessa época é a Torre Eiffel, em Paris, que começou a ser erguida em 1887 e, apesar de ter mais de 7 mil toneladas de ferro, é relativamente leve, já que possui mais de 300 metros de altura (GALVAMINAS, 2017).

Do ponto de vista de suas aplicações, os aços podem ser classificados em diversas categorias, cada qual com suas características (CHIAVERINI, 1996). Por exemplo, dos aços para estruturas são requeridas propriedades de boa ductilidade, homogeneidade e soldabilidade, além de elevada relação entre a tensão resistente e a de escoamento. A resistência à corrosão é também importante, só sendo, entretanto, alcançada com pequenas adições de cobre. Para atender a estes requisitos, utilizam-se em estruturas os aços-carbono e os aços em baixo teor de liga ou microligados, ambos os tipos com baixo e médio teores de carbono. A elevada resistência de alguns aços estruturais é obtida por processos de conformação ou tratamentos térmicos (PFEIL & PFEIL, 2009).

Na construção civil é muito comum encontrar perfis laminados, soldados e dobrados. A seguir, nas Figuras 3 e 4, são mostrados alguns destes tipos de perfis.

Figura 3- Perfis soldados e laminados.



Fonte: Schmitzhaus (2015).

Figura 4- Perfis dobrados.



Fonte: Metafas (2018).

5.2.1.1 Estrutura metálica e construção

O uso de estruturas de aço trouxe novas possibilidades para o desenvolvimento de projetos arquitetônicos. As vantagens da utilização do sistema construtivo em aço são diversas. Obras de maior porte, como shoppings centers, indústrias, aeroportos e edifícios de múltiplos andares são exemplos consolidados da aplicação deste sistema construtivo (SANTOS, 2016).

Na disputa com o concreto armado, o aço já desponta como primeira opção na construção civil, pelo menos nas grandes obras. Nessa concorrência, o aço está chegando ao canteiro de obras em forma de estruturas metálicas pré-moldadas, prontas para uso. A construção em aço representa atualmente cerca de 15% do universo do setor de edificações no Brasil, ainda há muito espaço para crescer. Nos Estados Unidos, 50% das construções multiandares comerciais são em aço; na Inglaterra, chegam a 70%. Hoje, produtividade e sustentabilidade são palavras-chave na área de construção e o aço atende essa expectativa (CBCA, 2015).

Segundo dados da CBCA (2015), o sistema construtivo em aço apresenta características significativas. Algumas delas abaixo:

- Liberdade no projeto de arquitetura

A tecnologia do aço confere aos arquitetos total liberdade criadora, permitindo a elaboração de projetos arrojados e de expressão arquitetônica marcante.

- Maior área útil

As seções dos pilares e vigas de aço são substancialmente mais esbeltas do que as equivalentes em concreto, resultando em melhor aproveitamento do espaço interno e aumento da área útil, fator muito importante principalmente em garagens.

- Flexibilidade

A estrutura em aço mostra-se especialmente indicada nos casos onde há necessidade de adaptações, ampliações, reformas e mudança de ocupação de edifícios. Além disso, torna mais fácil a passagem de utilidades como água, ar condicionado, eletricidade, esgoto, telefonia, informática, etc.

- Compatibilidade com outros materiais

O sistema construtivo em aço é perfeitamente compatível com qualquer tipo de material de fechamento, tanto vertical como horizontal, admitindo desde os mais convencionais (tijolos e blocos, lajes moldadas in loco) até componentes pré-fabricados (lajes e painéis de concreto, painéis "dry-wall", etc).

- Menor prazo de execução

A fabricação da estrutura em paralelo com a execução das fundações, a possibilidade de se trabalhar em diversas frentes de serviços simultaneamente, a diminuição de formas e escoramentos e o fato da montagem da estrutura não ser afetada pela ocorrência de chuvas, pode levar a uma redução de até 40% no tempo de execução quando comparado com os processos convencionais.

- Racionalização de materiais e mão-de-obra

Numa obra, através de processos convencionais, o desperdício de materiais pode chegar a 25% em peso. A estrutura em aço possibilita a adoção de sistemas industrializados, fazendo com que o desperdício seja sensivelmente reduzido.

- Alívio de carga nas fundações

Por serem mais leves, as estruturas em aço podem reduzir em até 30% o custo das fundações.

- Garantia de qualidade

A fabricação de uma estrutura em aço ocorre dentro de uma indústria e conta com mão-de-obra altamente qualificada, o que dá ao cliente a garantia de uma obra com qualidade superior devido ao rígido controle existente durante todo o processo industrial.

- Antecipação do ganho

Em função da maior velocidade de execução da obra, haverá um ganho adicional pela ocupação antecipada do imóvel e pela rapidez no retorno do capital investido.

- Organização do canteiro de obras

Como a estrutura em aço é totalmente pré-fabricada, há uma melhor organização do canteiro devido, entre outros, à ausência de grandes depósitos de areia, brita, cimento, madeiras e ferragens, reduzindo também o inevitável desperdício desses materiais. O ambiente limpo com menor geração de entulho oferece ainda melhores condições de segurança ao trabalhador contribuindo para a redução dos acidentes na obra.

- Precisão construtiva

Enquanto nas estruturas de concreto a precisão é medida em centímetros, numa estrutura em aço a unidade empregada é o milímetro. Isso garante uma estrutura perfeitamente aprumada e nivelada, facilitando atividades como o assentamento de esquadrias, instalação de elevadores, bem como redução no custo dos materiais de revestimento.

- Reciclabilidade

O aço é 100% reciclável e as estruturas podem ser desmontadas e reaproveitadas com menor geração de rejeitos.

- Preservação do meio ambiente

A estrutura em aço é menos agressiva ao meio ambiente, pois além de reduzir o consumo de madeira na obra, diminui a emissão de material particulado e poluição sonora gerada pelas serras e outros equipamentos destinados a trabalhar a madeira.

Segundo Fonseca (2015), em processos convencionais, o desperdício de materiais pode chegar a 25% em peso. Com o aço, o entulho da obra deixa de existir ou é reciclado. Por serem mais leves, as estruturas metálicas podem reduzir em até 30% o custo das fundações, e o tempo de construção é reduzido entre 10% e 20%. De acordo com o Instituto Aço Brasil, o consumo de aço para estruturas metálicas voltadas para a construção cresceu 6,4% entre 2012 e 2013. O Instituto estima um crescimento de 5% para o setor no ano passado (CBCA, 2015).

Porém, de acordo com o cenário econômico do país, estatísticas revelam que o setor teve uma recente queda, como mostrado na figura a seguir:

Figura 5 - Produção de estruturas de aço (toneladas/ano).



Fonte: CBBCA (2018).

5.3 Associação dos dois materiais

Entende-se por interface entre alvenaria e estrutura de aço a região de encontro desses dois sistemas. Uma vez que essa junção reúne materiais com diferentes propriedades físicas e comportamentos mecânicos, é necessário estabelecer recomendações de projeto que permitam obter um trabalho conjunto adequado (SANTOS, 2016).

Independentemente do esquema estrutural adotado, o estudo das ligações entre estrutura e vedação é importante para o desempenho de ambos os sistemas. Segundo Nascimento (2004), há mitos que atribuem à estrutura metálica problemas de ligações com a alvenaria, mas vale lembrar que todas as tipologias de estruturas precisam de cuidados específicos. O engenheiro, que também é autor do Manual “Alvenarias”, editado pelo CBCA, lembra que quando se fala na interação entre estrutura e alvenaria, o que mais costuma interferir é a deformação na alvenaria e não o tipo de material a ser utilizado na estrutura. Daí a importância de se definir um sistema de ligação eficiente que pode se apresentar como:

- ligações rígidas - ligadas fisicamente;
- ligações semi-rígidas - permitem pequenos movimentos na ligação superior;
- ligações deformáveis - isolam o movimento da estrutura na alvenaria.

Todas essas ligações são aplicáveis em todas as estruturas, não apenas nas metálicas. Independente da ligação, o importante é que a estrutura apresente estabilidade.

5.3.1 Vinculações

Via de regra, a engenharia utiliza como elementos de ligação dispositivos como ferro-cabelo e fios de aço com diâmetro de 3 a 8 mm, por serem de fácil manuseio e aplicação. Outras alternativas são as telas eletrossoldadas, fitas metálicas e cantoneiras metálicas, devendo todas serem definidas antes, e não durante a execução.

Segundo Coelho (2004), é essencial na construção industrializada dedicar mais tempo ao projeto e ao planejamento, em benefício de maior rapidez na execução da obra. A escolha dos elementos construtivos e a sua melhor combinação são fatores preponderantes para a racionalização da construção e a redução de prazos e custos. Nesse contexto, referindo-se à construção em aço, a interface entre as vedações (paredes e lajes) e a estrutura requerem atenção especial, visando aumentar a velocidade da construção e prevenindo eventuais patologias.

A ampliação do número de construção com estrutura metálica pode ser o principal passo para acabar com o preconceito de que alvenarias não suportam deformações e fissuram facilmente. Ainda segundo Nascimento (2004), houve realmente algumas experiências com resultados insatisfatórios, mas tais problemas são conseqüências de desconhecimento técnico e não podem ser parâmetro para se taxar essa forma de construir de problemática.

No manual “Alvenarias”, publicado por Nascimento juntamente com a CBCA, boa parte das soluções são simples e de fácil execução. Os principais cuidados referem-se às características de resistência e deformabilidade das alvenarias, além das ligações entre fechamento e estrutura.

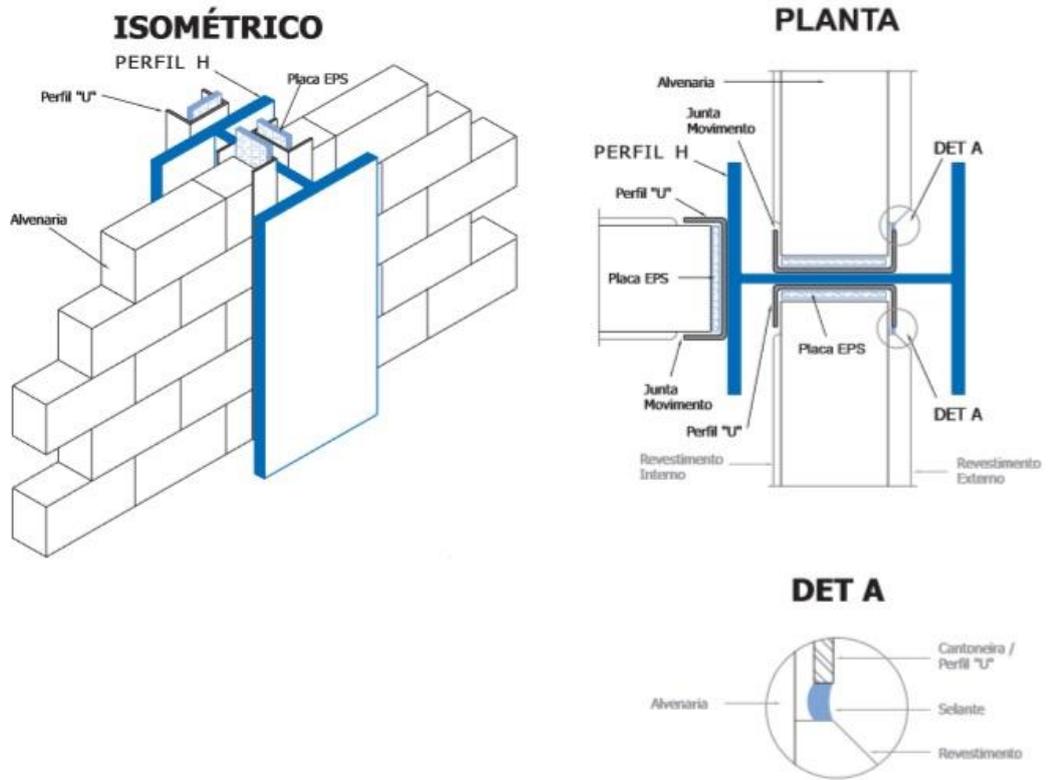
Da mesma forma que os cuidados não diferem muito entre estruturas metálicas e de concreto, algumas medidas também são semelhantes. Um exemplo claro é a utilização de telas metálicas para reforço das ligações e aumento da resistência mecânica da alvenaria. Para a ligação alvenaria-pilar, o uso de argamassa colante com polímero adicionado permite a adesão química entre os componentes, melhorando o desempenho do conjunto (TÉCHNE 73, 2003).

A definição do detalhe construtivo mais apropriado é função do vão estrutural. Em vãos de até 4,5 metros, é recomendável o uso de sistema rígido. Entre 4,5 e 6,5 metros pode ser empregada interface semi-rígida. Para vãos maiores que 6,5 metros, o mais adequado é o uso de sistemas deformáveis. Em edificações térreas, a ligação semi-rígida pode ser usada independentemente da distância entre as peças estruturais (TÉCHNE 73, 2003).

5.3.2 Ligação alvenaria-pilar

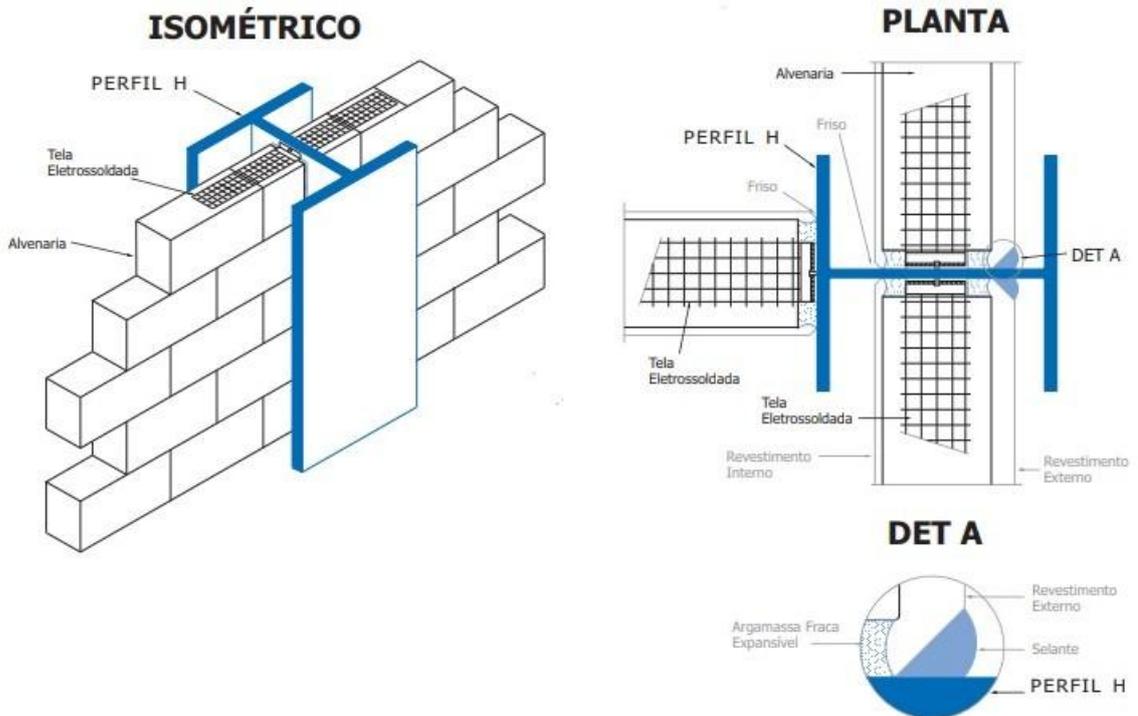
Coelho (2007), no manual “Interface entre Perfis Estruturais Laminados e Sistemas Complementares”, apresenta um conjunto de detalhes para diversos tipos de sistemas de vedação. No que se refere às alvenarias, são apresentados detalhes típicos para alvenaria moldada "in loco", sendo subdividida em alvenaria vinculada e desvinculada, como visto anteriormente. A seguir são mostrados estes detalhes nas Figuras 6,7, 8 e 9:

Figura 6 - Alvenaria desvinculada com uso de placa de EPS e perfil U.



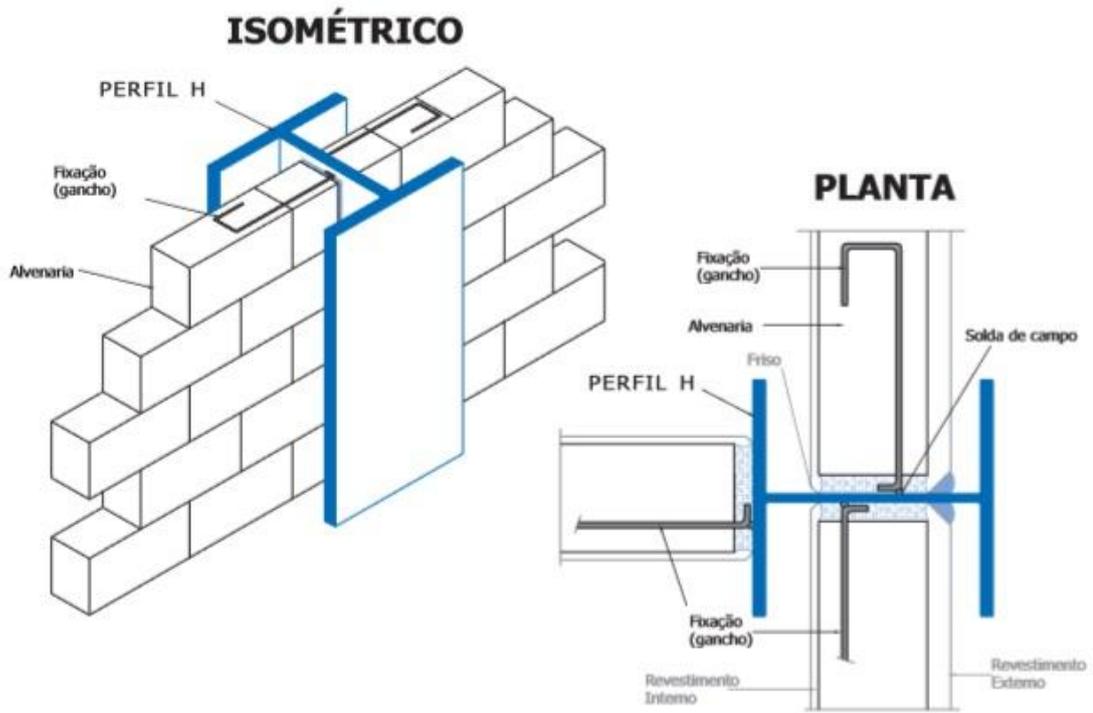
Fonte: Coelho (2007)

Figura 7 - Alvenaria vinculada com tela eletrossoldada.



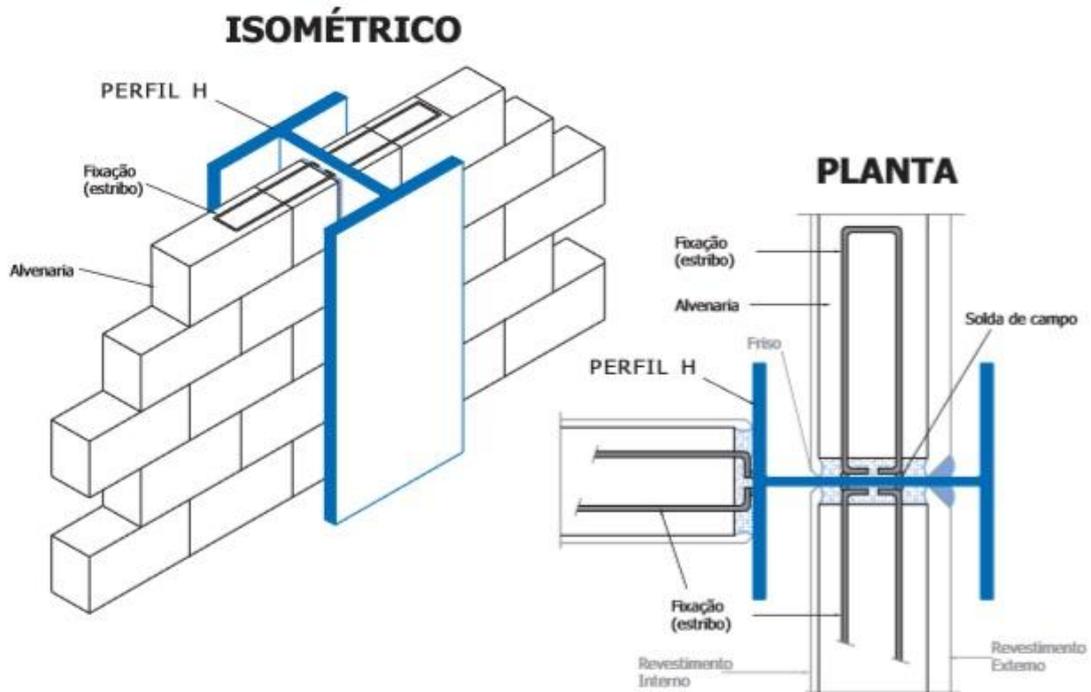
Fonte: Coelho (2007)

Figura 8 - Alvenaria vinculada com gancho de fixação.



Fonte: Coelho (2007)

Figura 9 - Alvenaria vinculada com estribo de fixação.



Fonte: Coelho (2007)

Em entrevista ao responsável pela coordenação técnica do manual citado anteriormente, o Engenheiro MSc. Djaniro Álvaro, é ressaltado que nas ligações alvenaria-estrutura são comumente empregadas barras de aço tipo estribo, denominadas ferro-cabelo, soldadas à estrutura, que é uma adaptação acessível e de fácil emprego, mas, preferencialmente, devem ser empregados segmentos de telas eletrossoldadas, que são próprias para esse tipo de solicitação, independente do tipo de ligação (rígida ou semi-rígida), pois o importante é a estrutura estar estável.

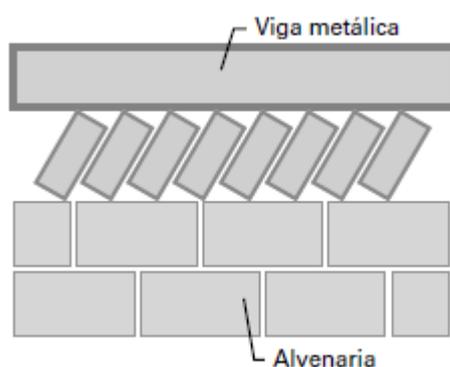
5.3.3 Ligação alvenaria-viga

A ligação da alvenaria com a viga deverá ser cuidadosamente definida de acordo com os três tipos de sistemas de vinculação vistos anteriormente: rígido, semi-rígido e deformável (NASCIMENTO, 2004).

5.3.3.1 Ligação alvenaria-viga para sistema rígido

Para o sistema rígido, o autor indica o processo de encunhamento, através do confinamento rígido da alvenaria sob a estrutura, o qual não deverá ser realizado antes de 7 dias do término da alvenaria, usando argamassa de assentamento e adição de aditivo com alumina ou similar tipo expansor, para evitar retração excessiva da argamassa.

Figura 10 - Sistema de encunhamento para ligação rígida

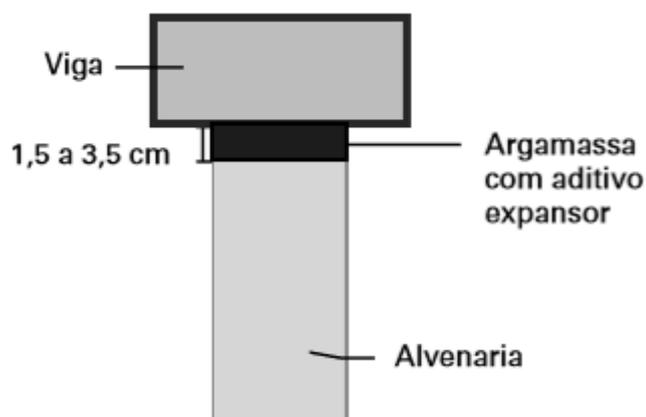


Fonte: Nascimento (2004).

5.3.3.2 Ligação alvenaria-viga para sistema semi-rígido

Para o sistema semi-rígido, Nascimento (2004) indica a utilização de folga preenchida com argamassa adicionada de aditivo tipo alumina ou outro expansor, para evitar a retração excessiva da argamassa, garantindo a fixação e estabilidade à alvenaria. Este sistema, quando adotado, considera pequenas deformações térmicas e estruturais sobre o painel de alvenaria, por isso o uso de argamassa com aditivo. A rugosidade das vigas não é levada em consideração, sendo necessária apenas a limpeza eficiente e a remoção de todo material solto, graxas e poeiras.

Figura 11 - Ligação alvenaria-viga para sistema semi-rígido.

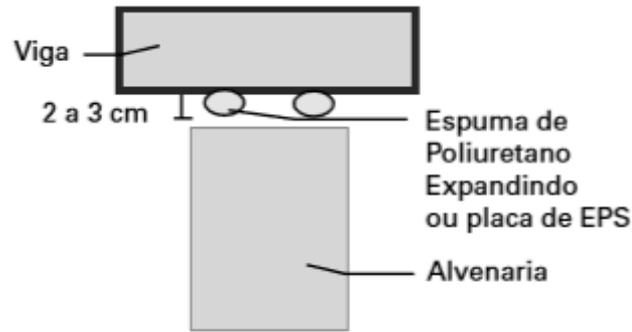


Fonte: Nascimento (2004).

5.3.3.3 Ligação alvenaria-viga para sistema deformável

Para o sistema deformável adota-se o uso de espuma de poliuretano expandido ou placa de EPS com processo de confinamento lateral através do uso de cantoneiras, em função da necessidade de absorver todos os efeitos de movimentação da estrutura.

Figura 12 - Ligação alvenaria-viga para sistemas deformáveis.



Fonte: Nascimento (2004).

Figura 13 - Uso de placa de EPS e Cantoneira na ligação Alvenaria-Viga



Fonte: Nascimento(2004).

5.3.3.4 Aspecto construtivo das juntas

Com relação ao aspecto construtivo das juntas, Mohamad (2014) adverte que devem ser tomados cuidados especiais para garantir o desempenho estrutural da construção, de forma que sua presença não afete a segurança estrutural e a estanqueidade da parede. Uma vez que as juntas permitem a acomodação da alvenaria na ocorrência de movimentações, elas se tornam locais suscetíveis à entrada de água na edificação, e devem ser projetadas e executadas de forma a representar uma folga entre os elementos, evitando assim diversos problemas patológicos.

Para evitar-se a fissuração das paredes, as tensões provenientes dessas movimentações deverão ser aliviadas pela introdução de juntas de controle, normalmente localizadas onde

ocorre concentração de tensões, que é onde há mudança brusca na altura ou espessura da parede, etc (THOMAZ, 1989).

Para a execução das mesmas, normalmente são utilizados produtos industriais baseados em resinas e outros compostos químicos que garantam um nível de flexibilidade que permita os movimentos de retração e expansão sem induzir esforços adicionais nos elementos e sem perder a estanqueidade (SANTOS, 2016).

5.4 Considerações na escolha da ligação

Para definição do modelo de ligação, torna-se necessário o conhecimento dos mecanismos de fixação e suas capacidades de desempenho. As eficiências dos dispositivos de ligação já citados anteriormente (ferro fio-cabelo, fita metálica e tela eletrossoldada) são variáveis. Nascimento (2004) apresenta o desempenho destes sistemas de acordo com testes realizados com protótipos. Os resultados são mostrados no quadro a seguir:

Tabela 2 - Resistência ao arrancamento em cada sistema

Sistema de fixação	Resistência ao arrancamento (kgf)	Tipo de ruptura
Ferro CA 60 5mm (reto)	240	Interface fio/argamassa
Fita metálica	340	Interface fio/argamassa
Ferro dobrado	540	Corpo da argamassa
Tela soldada	760	Corpo da argamassa

Fonte: Nascimento (2004).

Os resultados apresentados mostram uma grande diferença e maior eficiência para a tela soldada e o ferro dobrado; a tabela comprova a eficiência e a necessidade de provocar a ligação por arraste e não apenas aderência da barra, através do ensaio de arrancamento por tração direta do sistema de fixação numa alvenaria já com carga de compressão (NASCIMENTO, 2004).

5.4.1 Execução e montagem da alvenaria

Antes do início da execução da fixação das alvenarias, deve ser feito um preparo da superfície da estrutura metálica, pois é de suma importância a aderência lateral, para os casos de sistema rígido e semi-rígido. Deve ser retirado qualquer tipo de restos de material aderidos,

deve-se promover sua rugosidade com argamassa polimérica colante com adição de fixador, aplicados com desempenadeira dentada, como mostrada na figura 14. Após essa etapa deve-se aguardar 72 horas para o início do serviço de assentamento propriamente dito (NASCIMENTO, 2004).

Figura 14 - Aplicação de argamassa polimérica colante, com desempenadeira



Fonte: Nascimento (2004).

Com o objetivo de evitar o aparecimento de fissuras indesejáveis nas interfaces entre parede e pilar é primeiramente recomendável o uso de telas soldadas como componente de ligação, de acordo com os resultados vistos na tabela anterior. Os tamanhos podem ser definidos de acordo com a espessura da parede (largura dos blocos), conforme tabela a seguir:

Tabela 3- Tamanhos das telas de acordo com a largura do bloco

Espessura do bloco	Dimensões da tela largura x comprimento (mm)
70 mm	60 x 500
90 mm	80 x 500
120 mm	110 x 500
150 mm	120 x 500
190 mm	180 x 500 ou duas tiras 60 x 500

Fonte: Nascimento (2004).

O autor lista ainda considerações importantes que devem ser levadas em conta durante o planejamento/projeto de alvenaria:

- A aderência junto ao pilar é um fator considerável no desempenho;

- A utilização de argamassa de assentamento entre 4 e 8 MPa se comportam bem com o sistema de fixação;
- A utilização de ferro dobrado de amarração com a tela e argamassa deformável (até 8 MPa), formam o melhor desempenho para o sistema de vedação;
- O atrito lateral no pilar pode ser melhorado com aplicação de argamassa colante com adição de polímero para adesão química;
- A tolerância ideal para deslocamentos máximos da estrutura onde deverá apoiar a alvenaria será de $L/1000$ para a deformação da estrutura após a execução da alvenaria com vãos.

A execução do sistema de fixação lateral é muito importante para o sucesso do conjunto, o erro na fixação pode levar ao comprometimento da deformação levando à ocorrência de fissura. Para a fixação da tela eletrossoldada existem máquinas finca pinos no mercado, que são próprias para esse serviço e inserem agilidade à execução. Ou ainda, a tela fixada à cantoneira metálica, e esta fixada no pilar metálico.

Um dos problemas mais sérios que se apresentam para as paredes de vedação é, além da ligação ineficiente, a deflexão de vigas e lajes. Nesse sentido, Thomaz (1989), afirma que muito poderá ser feito retardando ao máximo a montagem das paredes, e quando o for, deverá acontecer do topo para a base do prédio, a fim de que as deflexões dos andares superiores não sejam transmitidas aos andares inferiores.

Independente da qualidade do serviço e da intensidade das movimentações da fundação ou da estrutura, as alvenarias estarão sujeitas a movimentações próprias, causadas por fenômenos higrotérmicos, retração dos componentes da alvenaria e/ou argamassa de assentamento, etc (THOMAZ, 1989).

5.5 Patologias

As movimentações naturais das alvenarias e das estruturas - sejam de aço ou de concreto - associadas ou não às deformações dos elementos estruturais podem introduzir tensões nas alvenarias. Se a resultante das ações impostas for superior às deformações admitidas, começarão a aparecer fissuras ou até mesmo ocorrer o destacamento do elemento de vedação por onde poderá ocorrer a penetração de água (DIAS, 2002).

Segundo Oliveira (2009), diversas interferências observadas entre estrutura e alvenaria causam manifestações patológicas nas edificações, principalmente fissuras. Segundo a autora, com a evolução tecnológica, o surgimento de novas tipologias construtivas, o aumento dos

vãos entre pilares e do número de pisos, assim como a rapidez de execução dos edifícios, essas fissuras se tornaram uma das principais anomalias nas alvenarias não estruturais.

5.5.1 Conceitos

A nomenclatura muda de acordo com a abertura da fissura. Segundo definições publicadas pelo IFSP, tem-se:

- **Fissura:** é uma abertura em forma de linha que aparece na superfície de qualquer material sólido proveniente de ruptura sutil de parte de sua massa, com espessura de até 0,5mm.
- **Trinca:** é uma abertura em forma de linha que aparece na superfície da qualquer material sólido, proveniente de evidente ruptura de parte de sua massa, com espessura de 0,5mm a 1,0mm.
- **Rachadura:** é uma abertura expressiva que aparece na superfície de qualquer material sólido, proveniente de acentuada ruptura de sua massa, podendo-se “ver” através dela e cuja espessura varia de 1,0 mm até 1,5 mm.
- **Fenda:** é uma abertura expressiva que aparece na superfície de qualquer material sólido, proveniente de acentuada ruptura de sua massa, causando sua divisão em partes separadas, com espessura superior a 1,5 mm.

Aparentemente as fissuras são as manifestações patológicas mais observadas ao longo de toda a história da engenharia. Estas patologias, além de provocar desconforto e receio quanto à estabilidade da edificação para o usuário, trazem o inconveniente da perda da estanqueidade e a degradação ao longo do tempo (NASCIMENTO, 2004).

5.5.2 Classificação

As fissuras podem ser classificadas quanto a sua origem em duas categorias:

- **Internas:** ocorrem por retração das argamassas do próprio bloco e ação de temperatura e umidade.
- **Externas:** ocorrem, principalmente, por causas externas (choques, cargas suspensas, transferência de cargas pela estrutura).

Uma outra classificação possível diz respeito às fissuras estarem ou não estabilizadas, conforme o seguinte:

- Ativas: são ocorrências verificadas em painéis de alvenaria, onde ocorrem ciclos de abertura e fechamento das mesmas (efeito térmico, vibrações, trânsito, etc.).
- Inativas: ocorrem para alívio de tensões superiores à resistência do material ou suas interfaces.

No mecanismo de formação e desenvolvimento de fissuras em alvenarias duas propriedades podem ser consideradas fundamentais: a deformabilidade e a resistência mecânica. Nascimento (2004) fornece uma breve descrição:

- Deformabilidade: é a propriedade da alvenaria relativa à capacidade de se manter íntegra ao longo do tempo. É de extrema importância devido às ações a que está sujeito um painel de alvenaria devido aos deslocamentos da estrutura. A deformabilidade e o módulo de deformação do painel de alvenaria são funções diretas do tipo do bloco e da argamassa, como também das dimensões das juntas de assentamento. É importante observar, ainda, que a capacidade de um painel se deformar sem apresentar fissuras depende de aderência promovida pela argamassa entre os blocos.

Tabela 4 - Módulo de deformação por tipo de alvenaria.

Tipo de bloco	Módulo de deformação (MPa)
Cerâmico	Entre 1.400 e 2.500
Concreto	Entre 6.800 e 9.000
Sílico-calcário	Entre 2.700 e 4.300

Fonte: CBCA (2015).

- Resistência Mecânica: esta propriedade em painéis de alvenaria é talvez a mais equivocada pelo meio técnico, devido ao conceito de vedação. Porém, pode-se afirmar que sua capacidade de resistir a esforços torna-se cada vez mais importante, visto que a deformação da estrutura nas primeiras idades, deformações lentas ao longo do tempo, a fluência e a retração da estrutura, transferem tensões aos painéis confinados entre as estruturas, principalmente na engenharia moderna cujos prazos foram esquecidos ou não observados. A resistência à compressão da alvenaria depende diretamente da resistência do bloco utilizado, enquanto que nos efeitos de tração e cisalhamento a capacidade da argamassa é de extrema importância. Essa resistência à compressão é determinada a partir dos resultados obtidos por amostras durante ensaio

ou em função da informação prestada pelo fabricante. No caso de blocos cerâmicos com largura (L) inferior a 90 mm, a resistência mínima à compressão exigida é de 2,5 MPa. Independentemente da classificação, todas as amostras de blocos cerâmicos têm de atender ao requisito mínimo de 1,0 MPa.

Pode-se concluir que, quanto menor a capacidade de resistência à compressão do bloco, o surgimento de patologias nas alvenarias é mais frequente em um menor espaço de tempo e com maior intensidade. Em relação à possibilidade de prever a movimentação, Nascimento (2004) destaca que a estrutura metálica traz facilidades em função do módulo de elasticidade conhecido e controlado industrialmente, da maior facilidade da execução de contra-flechas e do conhecimento das deformações. Qualquer que seja o material estrutural é possível indicar alguns fatores que predominantemente contribuem para a fissuração:

- Fixação da alvenaria no sistema rígido em vãos de grandes dimensões;
- Utilização de argamassas rígidas no assentamento dos blocos;
- Adoção de juntas horizontais entre os elementos da alvenaria com pequena espessura;
- Ligação lateral com pilares insuficientes;
- Ineficiência ou inexistência de redutores de tensão (vergas e contra vergas);
- Ausência de juntas de dilatação nas alvenarias;
- Falta de projetos de alvenarias e revestimento adequados.

5.5.3 Análise de fissuras

As fissuras podem começar a surgir, de forma congênita, logo no projeto arquitetônico da construção; os profissionais ligados ao assunto devem se conscientizar de que muito pode ser feito para minimizar-se o problema, pelo simples fato de reconhecer-se que as movimentações dos materiais e componentes das edificações civis são inevitáveis (THOMAZ, 1989).

Ainda segundo o autor, é muito comum referir-se a materiais de construção como bons ou ruins, duráveis ou não duráveis e resistentes ou não resistentes, como se estas fossem propriedades inerentes dos materiais. Na realidade, esses termos são muito relativos: a durabilidade do material está diretamente relacionada às condições de aplicação e de exposição. Por outro lado, não existe nenhum material infinitamente resistente, todos eles irão trincar-se ou romper-se sob ação de um determinado carregamento, carregamento este que não é desejável atingi-lo.

Considerando ainda a carência de especificações técnicas, deficiência de fiscalização e, muitas vezes, imposições políticas de prazos e preços, chega-se finalmente à execução da obra, onde uma série de improvisações e malabarismos deverão ser adotados para tentar-se produzir um edifício de boa qualidade. Nesse quadro é quase certa a ocorrência de fissuras, destacamentos, infiltrações de água e outros fenômenos que parecem ser naturais, mas são reflexo de execução deficiente.

No tocante às fissuras, que em ordem de importância perdiam apenas para os problemas de umidade, concluiu-se que as causas mais importantes eram a deformabilidade das estruturas e as movimentações térmicas, seguindo-se os recalques diferenciados de fundações e as movimentações higroscópicas. Levando-se em conta, ainda, que as fissuras são provocadas por tensões oriundas de atuação de sobrecargas ou de movimentações de matérias, dos componentes ou da obra como um todo, Thomaz (1989) faz a análise da ocorrência dos seguintes fenômenos:

- movimentações provocadas por variações térmicas e de umidade;
- atuação de sobrecargas ou concentração de tensões (que gera deformação excessiva nas estruturas);
- deformabilidade excessiva das estruturas;

5.5.3.1 Fissuras causadas por movimentações térmicas

As movimentações térmicas de um material estão relacionadas com as propriedades físicas do mesmo e com a intensidade da variação da temperatura; a magnitude das tensões desenvolvidas é função da intensidade da movimentação, do grau de restrição imposto pelos vínculos a esta movimentação e das propriedades elásticas do material. As trincas de origem térmica também podem surgir por movimentações diferenciadas entre componentes de um elemento, entre elementos de um sistema e entre regiões distintas de um mesmo material. As principais movimentações diferenciadas ocorrem em função inclusive da junção de materiais com diferentes coeficientes de dilatação térmica, sujeitos às mesmas variações de temperatura.

A movimentação térmica da estrutura pode causar destacamentos entre as alvenarias e o reticulado estrutural, como mostra a figura seguinte, e mesmo a incidência de trincas de cisalhamento nas extremidades das alvenarias.

Figura 15- Destacamento entre alvenaria e estrutura, provocado por movimentações térmicas diferenciadas



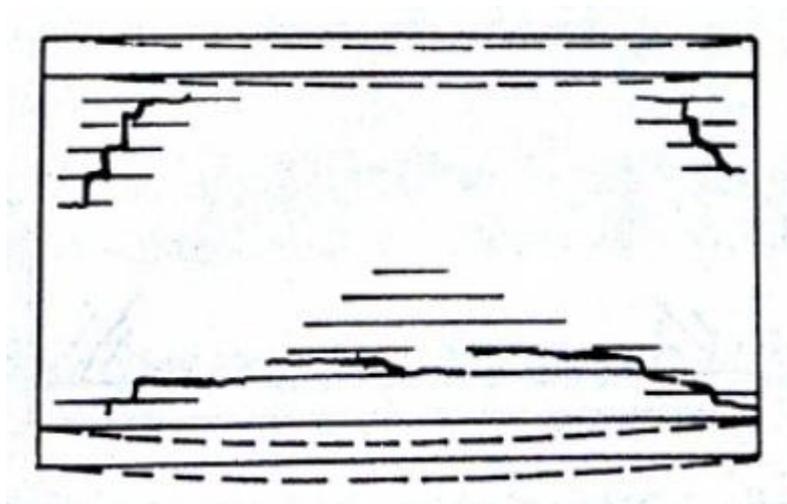
Fonte: Thomaz (1989).

5.5.3.2 Fissuras causadas por deformabilidade excessiva da estrutura

Os componentes do edifício mais suscetíveis à flexão de vigas e lajes são as alvenarias. Para paredes de vedação sem aberturas de portas e janelas, existem três configurações típicas de fissuras, segundo Thomaz (1989), a saber:

- a) O componente de apoio deforma-se mais que o componente superior, como ilustrado a seguir.

Figura 16- Fissuras em parede de vedação onde a viga suporte se deforma mais que a viga superior



Fonte: Thomaz (1989).

Na parte inferior do painel surge uma trinca horizontal; e segundo Thomaz (1989), para alvenarias com boa resistência à tração e ao cisalhamento, o painel pode permanecer apoiado nas extremidades da viga, resultando numa fresta entre a base da alvenaria e a viga suporte.

- b) O componente de apoio deforma-se menos que o componente superior, como ilustrado a seguir.

Figura 17- Fissuras em parede de vedação quando a deformação da viga suporte é menor que a deformação da viga superior



Fonte: Thomaz (1989).

- c) O componente de apoio e o componente superior apresentam deformações aproximadamente iguais.

Figura 18- Fissuras em parede de vedação onde a deformação da viga suporte é semelhante à deformação da viga superior



Fonte: Thomaz (1989).

Nas alvenarias de vedação com presença de aberturas, as fissuras poderão apresentar configurações diversas em função da extensão da parede, da intensidade da movimentação, do tamanho e da posição dessas aberturas.

5.5.4 Tabela resumo de possíveis patologias: Causas x Consequências

Na tabela 5 constará um resumo das causas do aparecimento de fissuras em alvenarias ligadas a estruturas metálicas, já citadas ao longo do item 5.5, e como essas fissuras são manifestadas a depender do fator causador.

Tabela 5 - Possíveis causas do aparecimento de fissuras na alvenaria ligada à estrutura metálica

Causas	Consequências	
	Em estrutura aparente	Em estrutura revestida
Movimentações térmicas	Fissura no encontro da alvenaria com a estrutura	Fissura contínua no reboco que contorna a estrutura
Deformabilidade excessiva da estrutura	Fissuras e/ou destacamento na região central inferior e cantos superiores da alvenaria	
Vinculação lateral insuficiente	Desprendimento da alvenaria em relação à estrutura/fissura na junção dos materiais	
Vinculação superior inadequada	Poderá acarretar fissuras horizontais e até queda de reboco na parte superior central do pano de alvenaria	
Revestimento inadequado	Desprendimento da alvenaria em relação à estrutura/fissuras no encontro e ao longo do pano de alvenaria	

Fonte: Autor (2018).

5.6 Requisitos de desempenho para sistemas de vedação vertical segundo a ABNT NBR:15575-4:2013

O desempenho de uma edificação ou de suas partes pode ser caracterizado como uma relação entre seu comportamento quando em uso e operação frente às condições de exposição e o comportamento esperado por seus usuários, levando em consideração as necessidades humanas em relação ao uso da edificação (CBCA, 2014).

Desde o ano de 2013, está em vigor a ABNT NBR 15.575:2013 – Edificações Residenciais – Desempenho, referência normativa que estabelece requisitos de desempenho para as edificações. Apesar de ser específica para edificações habitacionais, esta norma também pode ser utilizada como uma referência para uma análise geral do desempenho de

outras tipologias. A Parte 4 desta norma aborda os requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas (SVVIE) (SANTOS, 2016).

A seguir são apresentados alguns requisitos mencionados na ABNT NBR 15575-4:2013 que estão diretamente relacionados à importância do projeto de alvenaria e detalhamento de interfaces e juntas:

- Requisito de Desempenho Estrutural - Deslocamentos, fissuração e ocorrências de falhas nos sistemas de vedações verticais internas e externas.

Esse requisito propõe limitar os deslocamentos, fissurações e falhas a valores aceitáveis, de forma a assegurar o livre funcionamento de elementos e componentes da edificação habitacional. Como premissas de projeto para a conformidade quanto a esse requisito, a norma estabelece que “o projeto deve mencionar a função estrutural ou não das vedações verticais internas e externas, indicando também, no caso daquelas com função estrutural, as normas utilizadas” (ABNT NBR 15575-4, 2013).

- Requisito de Estanqueidade - Infiltração de água nos sistemas de vedações verticais externas (fachadas).

Os SVVIE devem ser estanques à água proveniente de chuvas incidentes ou de outras fontes. A premissa de projeto para esse requisito é que “o projeto deve indicar os detalhes construtivos para as interfaces e juntas entre componentes, a fim de facilitar o escoamento de água e evitar sua penetração para o interior da edificação. Esses detalhes devem levar em consideração as solicitações a que os componentes da vedação externa estarão sujeitos durante a vida útil de projeto da edificação habitacional” (ABNT NBR 15575-4, 2013).

- Requisito de Durabilidade e Manutenibilidade

Para paredes externas, devem ser limitados os deslocamentos, fissurações e falhas nas paredes externas, incluindo seus revestimentos, em função de ciclos de exposição ao calor e ao resfriamento que ocorrem durante a vida útil do edifício. Os sistemas de vedações verticais internas e externas devem manter a capacidade funcional e as características estéticas, ambas compatíveis com o envelhecimento natural dos materiais durante a vida útil de projeto, que, de acordo com NBR 15575-1, a vida útil de projeto mínima para vedação vertical externa é de

40anos. Como premissas de projeto, a norma estabelece que o projeto deve mencionar o prazo de substituição e manutenções periódicas para os componentes que apresentam vida útil de projeto menor do que aquelas estabelecidas para o SVVIE” (NBR15575-4, 2013).

Estes requisitos se relacionam com o projeto de alvenaria e o detalhamento de juntas e interfaces uma vez que a ausência desses elementos certamente levará à não adequação quanto aos níveis de desempenho esperados. A ABNT NBR 15575-4:2013 é uma referência inédita ao abordar o tema de desempenho dos SVVIE, contudo trata-se de uma orientação mais geral, já que não é seu objetivo a prescrição de como os sistemas são construídos e não são abordados critérios específicos exigidos a cada sistema ou material (SANTOS, 2016).

5.7 Sistema de revestimento

É também importante falar do revestimento, pois fissuras oriundas de revestimento mal executado podem vir a surgir, além daquelas já previstas anteriormente. Segundo Nascimento (2004), o sistema de revestimento corresponde ao acabamento final da edificação, sendo a parte que fica visível aos usuários e proprietários. A integridade deste sistema é, portanto, de grande importância para a confiabilidade na utilização das estruturas metálicas e na satisfação das pessoas que interagem com a edificação. Para tal fazem-se necessários cuidados que garantirão a qualidade e a durabilidade da edificação, cuidados esses que o autor trata detalhadamente e estão descritos a seguir.

5.7.1 Estrutura metálica revestida

Nas situações em que a estrutura metálica será revestida, além de todas as preocupações necessárias na execução do revestimento, todos os cuidados devem ser tomados para garantir a aderência do sistema de revestimento nos perfis metálicos, principalmente devido à sua baixa porosidade e conseqüente baixa capacidade de ancoragem mecânica (NASCIMENTO, 2004).

- **Limpeza**

Deve ser feita a limpeza tanto da superfície metálica, quanto da alvenaria. Para a superfície metálica, deve ser utilizada escova de aço para remoção de materiais pulverulentos, bem como produtos de eventual oxidação, restos de argamassa, etc. Na alvenaria, devem ser

removidas, com vassoura de piaçava, substâncias aderidas à alvenaria (NASCIMENTO, 2004).

- Enchimento dos perfis metálicos

Em função de a estrutura metálica ser inteiramente revestida, faz-se necessário o prévio preenchimento dos espaços correspondentes às almas das vigas e pilares. Para executar o preenchimento, poderão ser utilizados blocos de concreto celular auto clavado (possuem facilidade de corte nas dimensões necessárias), blocos de concreto ou cerâmicos. A fixação destes blocos à estrutura deverá ser feita através de uma argamassa colante, tipo AC II aditivada com polímero acrílico modificado (com índice de resina superior a 50%) (NASCIMENTO, 2004).

O uso do polímero acrílico na argamassa, segundo Blanco (2014), aumenta a trabalhabilidade da argamassa e aumenta também a porosidade do material, aumentando sua capacidade de aderência ao substrato, como mostra a figura a seguir.

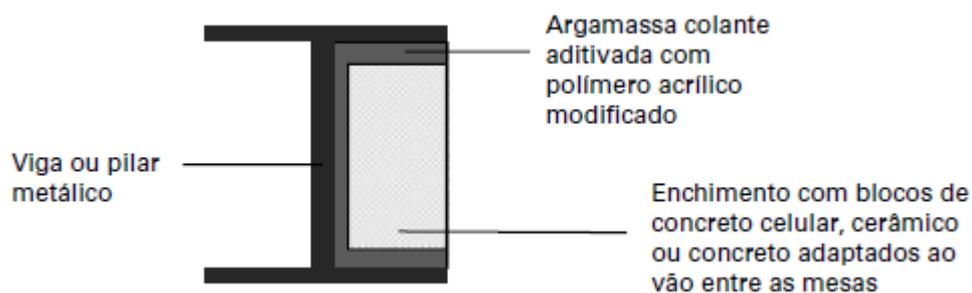
Figura 19- Mudança da argamassa com a adição de polímero acrílico



Fonte: Blanco (2014).

A argamassa de fixação, ainda segundo Nascimento (2004), deve ser preparada misturando-se, inicialmente, o polímero com água em uma proporção não inferior a 1:4 (polímero:água), em volume. Esta mistura será adicionada à argamassa colante em pó, na quantidade necessária para fornecer trabalhabilidade à massa. A configuração final deve ser a seguinte:

Figura 20 - Detalhe de preenchimento de perfil metálico

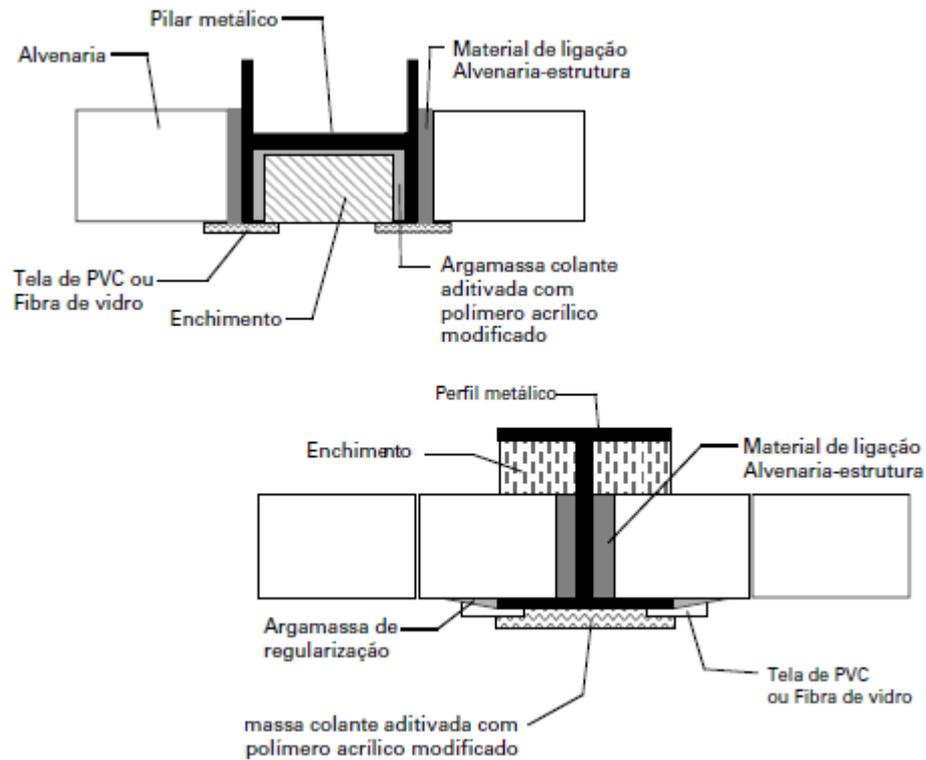


Fonte: Nascimento (2004).

- Transição perfil metálico/alvenaria

Essa transição corresponde a uma interface entre materiais de características diferentes, onde é recomendado o uso de telas específicas, como as telas de PVC ou de fibra de vidro, as quais devem ser posicionadas nos pontos de contato entre alvenaria e estrutura, fixadas com argamassa colante aditivada com polímero modificado. A representação esquemática é mostrada a seguir.

Figura 21- Detalhe de utilização de tela de pvc e argamassa colante

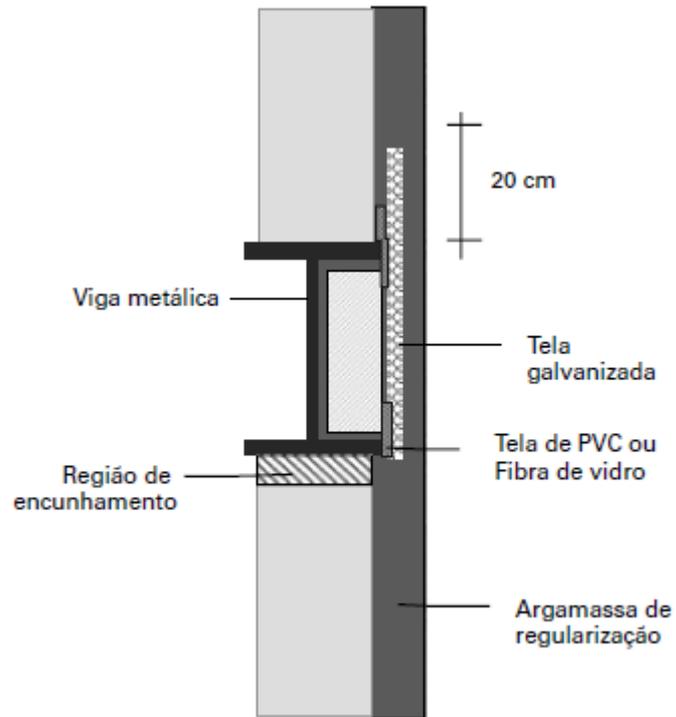


Fonte: Nascimento (2004).

- Reforços localizados na argamassa de regularização

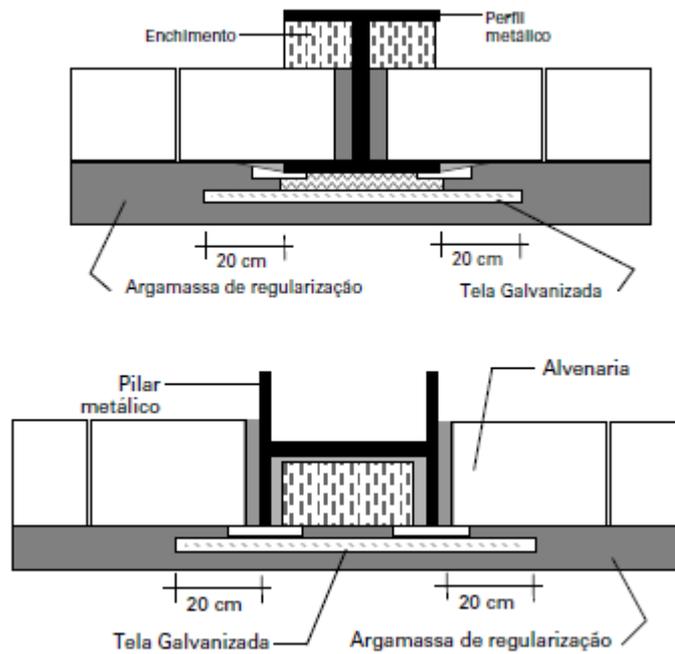
Deverão ser previstos reforços com tela galvanizada (fio 22 e malha 1”) na argamassa de revestimento em algumas situações de pilares e vigas revestidos, bem como nas cintas, pilaretes e tirantes de concreto que porventura existirem.

Figura 22- Reforço em vigas revestidas



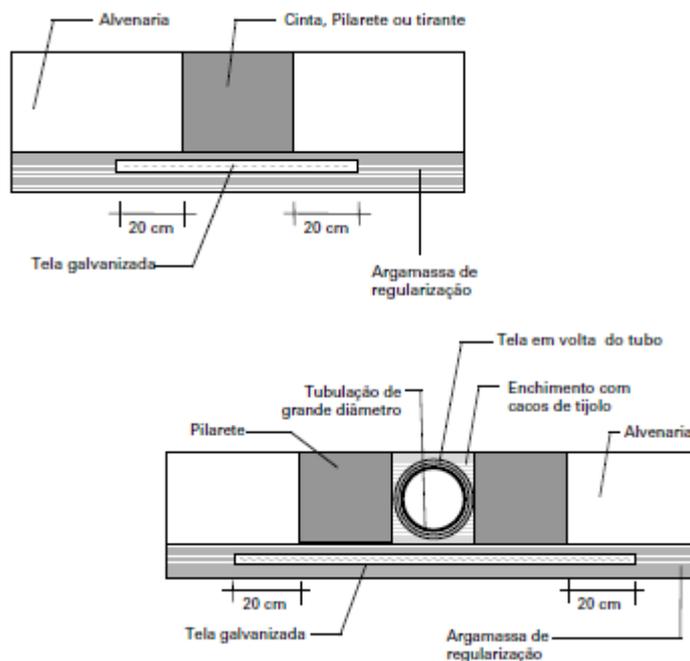
Fonte: Nascimento (2004).

Figura 23- Reforço em pilares revestidos



Fonte: Nascimento (2004).

Figura 24- Reforço de revestimento em regiões de cintas, pilaretes e/ou onde haja embutimento de tubulações



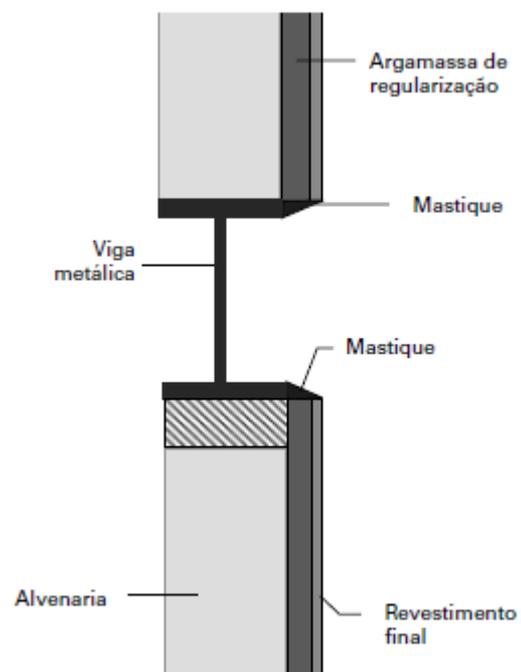
Fonte: Nascimento (2004).

5.7.2 Estrutura metálica aparente

Nas situações em que a estrutura metálica não será revestida, ficando total ou parcialmente aparente, o sistema de revestimento é mais simples, e depende da posição do sistema em relação aos perfis. As interfaces entre revestimento e estrutura serão conectadas através de mastiques ou tintas elastoméricas. Os mastiques (ou mástiques) são selantes que podem ser à base de poliuretano, acrílicos ou de silicone. O corpo de apoio apresentado na figura 26 é um delimitador de profundidade, nada mais é do que um tubo de polietileno usado para manter o fator de forma necessário ao bom desempenho do mástico. Nascimento (2004) apresenta diversas situações, mostradas a seguir.

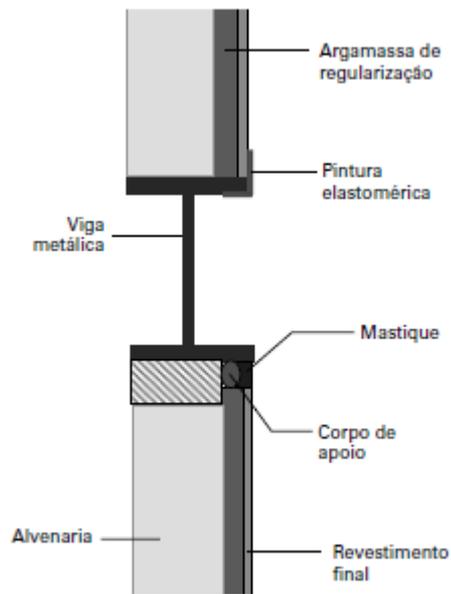
- Viga metálica aparente

Figura 25- Viga metálica aparente com mastique



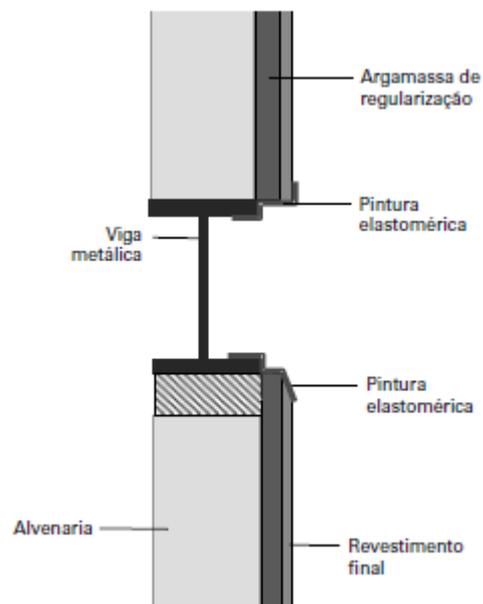
Fonte: Nascimento (2004).

Figura 26- Viga metálica com pintura elastomérica e mastique



Fonte: Nascimento (2004).

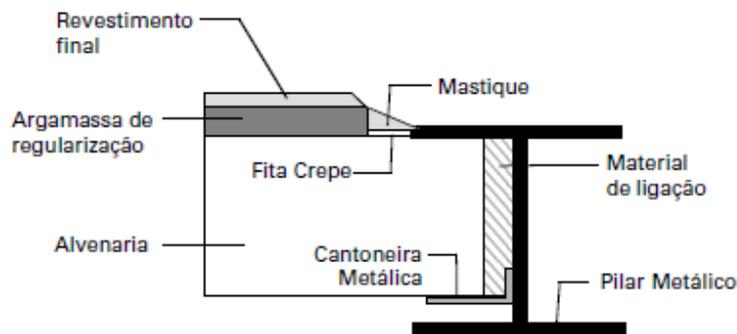
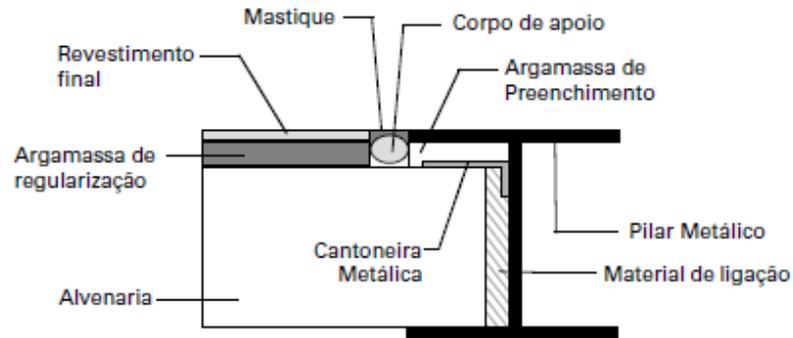
Figura 27- Viga metálica com pintura elastomérica



Fonte: Nascimento (2004).

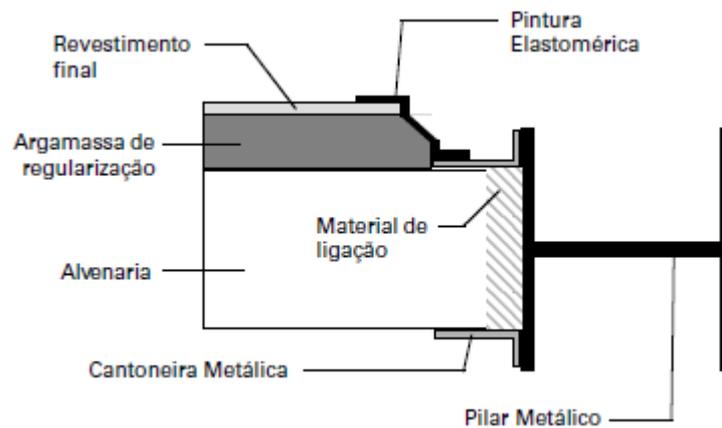
- Pilar metálico aparente

Figura 28- Pilar metálico com alvenaria ligada à alma do perfil



Fonte: Nascimento (2004).

Figura 29- Pilar metálico com alvenaria ligada à mesa do perfil



Fonte: Nascimento (2004).

A determinação da posição da alvenaria em relação ao perfil metálico dependerá de detalhes arquitetônicos estabelecidos anteriormente à execução, mas sempre deverá apresentar os cuidados necessários ao bom desempenho da interface, seja a alvenaria ligada à alma ou à mesa do perfil.

5.8 Laje Steel Deck

5.8.1 Definição

A laje steel deck é uma laje mista de aço e concreto, constituída por uma fôrma de aço trapezoidal e pelo concreto moldado no local. O concreto pode ser de densidade normal ou leve. Esse tipo de laje também é conhecida como laje com fôrma de aço incorporada, onde a fôrma participa também do sistema de sustentação das cargas, funcionando, antes da cura do concreto, como suporte das ações permanentes e sobrecargas de construção e, depois da cura, como parte ou toda a armadura de tração da laje (QUEIROZ, 2012).

Leveza e velocidade de execução são as duas principais características citadas por especialistas quando o assunto é o steel deck. Seja em obras industriais, comerciais ou residenciais, essas lajes mistas normalmente são aplicadas em obras nas quais a necessidade de racionalização dos processos construtivos e a entrega em prazos curtos está presente. Por conta desses benefícios, o uso do sistema se torna cada vez mais atrativo em obras que exigem tecnologias de ponta (TÉCHNE 147, 2009).

A figura 30 mostra a representação de uma laje mista Steel Deck.

Figura 30 - Laje mista Steel Deck.



Fonte: Total Construção (2017).

5.8.2 Vantagens e Desvantagens

Ideal para compor um conjunto construtivo com estruturas metálicas, o steel deck se mostra competitivo, sobretudo, em situações onde os vãos variam de 2 m a 4 m. Nessa condição, dispensam escoramentos e, conseqüentemente, agilizam o cronograma da obra. O uso desse tipo de laje se mostra particularmente vantajoso em situações de obras com condições especiais de execução onde, por exemplo, a montagem de escoras é inconveniente, ou ainda quando há dificuldades para trafegar pela obra com um sistema de fôrmas e escoramentos (TÉCHNE 147, 2009).

Muitos estudiosos vêm pesquisando a fundo sobre lajes mistas, e foram descobertos alguns pontos positivos e alguns negativos neste método tão pouco usado hoje no Brasil. De acordo com o Catálogo Metform Steel Deck (2017), dentre as muitas vantagens que este método construtivo têm, destacam-se as seguintes:

- Alta qualidade de acabamento da laje;
- Dispensa escoramento e reduz os gastos com desperdício de material (fôrmas fixas);
- Facilidade de instalação e maior rapidez construtiva;
- Funciona como plataforma de serviço e proteção aos operários que trabalham nos andares inferiores, propiciando maior segurança;
- Apresenta facilidade para a passagem de dutos das diversas instalações, favorecendo também a fixação de forros.

Todas estas vantagens tem como resultado uma praticidade maior, economia e, por consequência, um maior retorno financeiro do empreendimento (CATÁLOGO METOFORM STEEL DECK, 2017).

Já segundo Queiroz *et al.* (2001), existem duas grandes desvantagens na utilização da laje Steel Deck, e elas são: a necessidade de utilização de forros suspensos, por razões estéticas; e a demanda por maior quantidade de vigas secundárias, caso não se utilize o sistema escorado e/ou fôrmas de grande altura, devido a limitação dos vãos antes da cura do concreto.

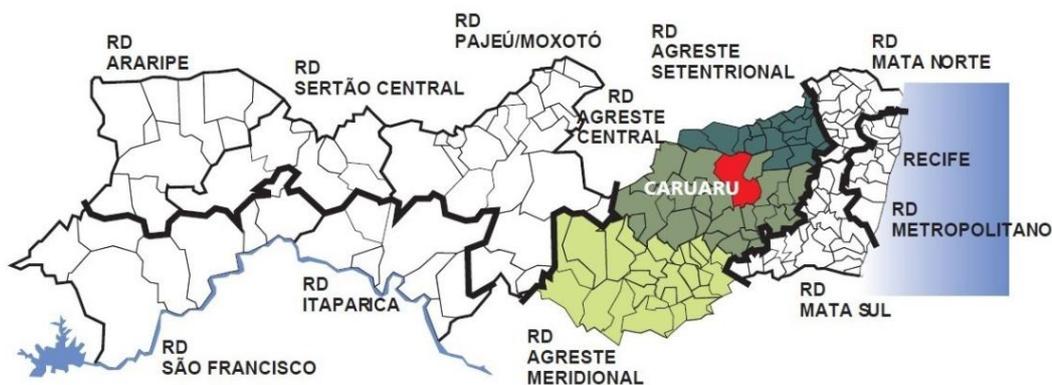
6 METODOLOGIA

Este capítulo discorre sobre a metodologia utilizada para o desenvolvimento desta pesquisa, ou seja, a verificação da existência de patologias, principalmente fissuras, nas repartições da edificação visitada, na cidade de Caruaru, que utilizou alvenaria de vedação em tijolos cerâmicos associados à estrutura metálica.

A cidade de Caruaru está localizada na mesorregião do Agreste de Pernambuco e microrregião do Vale do Ipojuca. Possui 932 Km², latitude 08° 17' 00" S e longitude 35° 58' 34" W, a 130 Km de Recife, capital do estado. O clima é tropical do tipo semi-árido com pouca pluviosidade ao longo do ano, sendo junho e julho os meses mais chuvosos e outubro o mês mais seco. As temperaturas médias variam entre 21.7 °C a 24°C. Janeiro é o mês mais quente, com temperatura em torno de 23.3 °C, e julho o mês mais frio, com temperatura em torno de 19.5 °C (FUNDAÇÃO DE CULTURA E TURISMO DE CARUARU, 2018).

A localização precisa pode ser observada na Figura 31 a seguir.

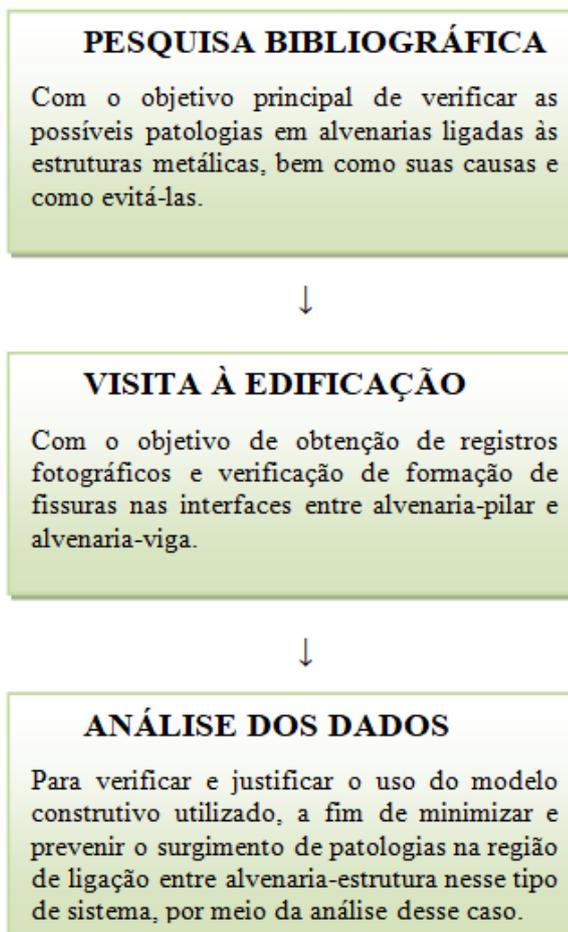
Figura 31- Mapa estadual, macrolocalização.



Fonte: Fundação de Cultura e Turismo de Caruaru (2018).

O fluxograma mostrado na figura 32 apresenta uma sequência lógica das etapas adotadas neste estudo e seus respectivos objetivos específicos.

Figura 32 - Fluxograma das etapas do estudo.



Fonte: Autor (2018).

6.1 Descrição das etapas adotadas para o desenvolvimento da pesquisa

Neste trabalho foi realizado um estudo de caso, localizado na Avenida Agamenon Magalhães, em Caruaru-PE. A edificação foi executada em 2015, cujo empresário da edificação optou pelo modelo construtivo em questão por dar mais liberdade de alcance dos vãos desejados, impostos no modelo arquitetônico, e desejava também rapidez na construção. Foram feitas verificações de desempenho da interface alvenaria-estrutura no local.

Visando opções para solucionar ou minimizar o surgimento de patologias no modelo construtivo em questão, buscou-se primeiramente, por meio de pesquisas bibliográficas, a melhor forma de executar o conjunto, cujas formas foram mostradas em tópicos anteriores, e qual o tipo de ligação utilizado na obra, através de registros fotográficos realizados no momento da execução. A revisão de literatura proporcionou um embasamento teórico essencial para estruturar a modelagem do estudo e compreender melhor as manifestações patológicas.

Foi contatado um profissional especializado na área, mestre em Engenharia Civil com ênfase em estruturas metálicas, atualmente Assessor Técnico da Gerdau Aços Brasil, responsável pelas regiões Norte e Nordeste, e responsável pela coordenação técnica do Manual “Interface entre Perfis Laminados Estruturais e Sistemas Complementares” (utilizado como uma das fontes de pesquisa deste trabalho), o Engenheiro MSc. Djaniro Álvaro de Souza, o qual prestou alguns esclarecimentos acerca do assunto.

Posteriormente, foi feita visita ao empreendimento após 3 anos de funcionamento ao público, para obtenção de registros fotográficos que comprovassem a situação aparente da alvenaria na região de ligação com os pilares e vigas, se houve o surgimento de patologias e se causou algum tipo de transtorno.

Foi comparado o modelo construtivo implantado na edificação com os modelos construtivos existentes na bibliografia pesquisada, a fim de justificar o aparecimento ou não de fissuras.

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir será apresentado o caso analisado, com as imagens das situações e suas respectivas análises.

7.1 Caracterização da edificação

A edificação, projetada há 3 anos, em 2015, possui um total de 6.336,63 m² em área construída, sendo 4.991,26 m² para o pavimento térreo, 456,33 m² para mezaninos e 889,04 m² para subsolo.

7.2 Caracterização da estrutura

A estrutura de aço do Edifício é composta por perfis laminados ASTM A36 MR 250 . A laje dos mezaninos é do tipo steel deck, que foi determinada na fase de projeto. A alvenaria atua como vedação, enquanto a laje de steel deck se apoia nas vigas de aço que descarregam nas colunas, liberando a alvenaria de absorver esses esforços. A estrutura é aparente, e a alvenaria é revestida com reboco e acabamento argamassado finalizado com pintura látex acrílica.

7.3 Aspectos de execução da alvenaria – Ligação entre alvenaria e estrutura

A ligação entre alvenaria e pilares foi feita por meio de ferros-cabelo retos soldados aos pilares, com solda realizada in loco, como mostrado na figura 31. Este tipo de ligação caracteriza uma ligação rígida.

Figura 33- Ligação entre alvenaria-pilar na edificação.



(a)

(b)

Fonte: Autor (2018).

O dispositivo ferro-cabelo foi disposto de duas em duas fiadas de tijolos, aproximadamente 40 cm de distância entre um e outro. É possível observar também pedaços de isopor fixados nas extremidades para que as pontas dos ferros-cabelo não fiquem expostas e possam causar algum acidente com os colaboradores que estão no local.

A fixação da alvenaria com o vigamento foi feita por último, como recomendado por autores e comentado anteriormente. Observa-se este fato nas figuras a seguir.

Figura 34-Alvenaria superior executada antes da ligação da viga com a alvenaria inferior



Fonte: Autor (2018).

Figura 35- Alvenaria superior construída antes da execução da ligação da viga com a alvenaria inferior - outra vista



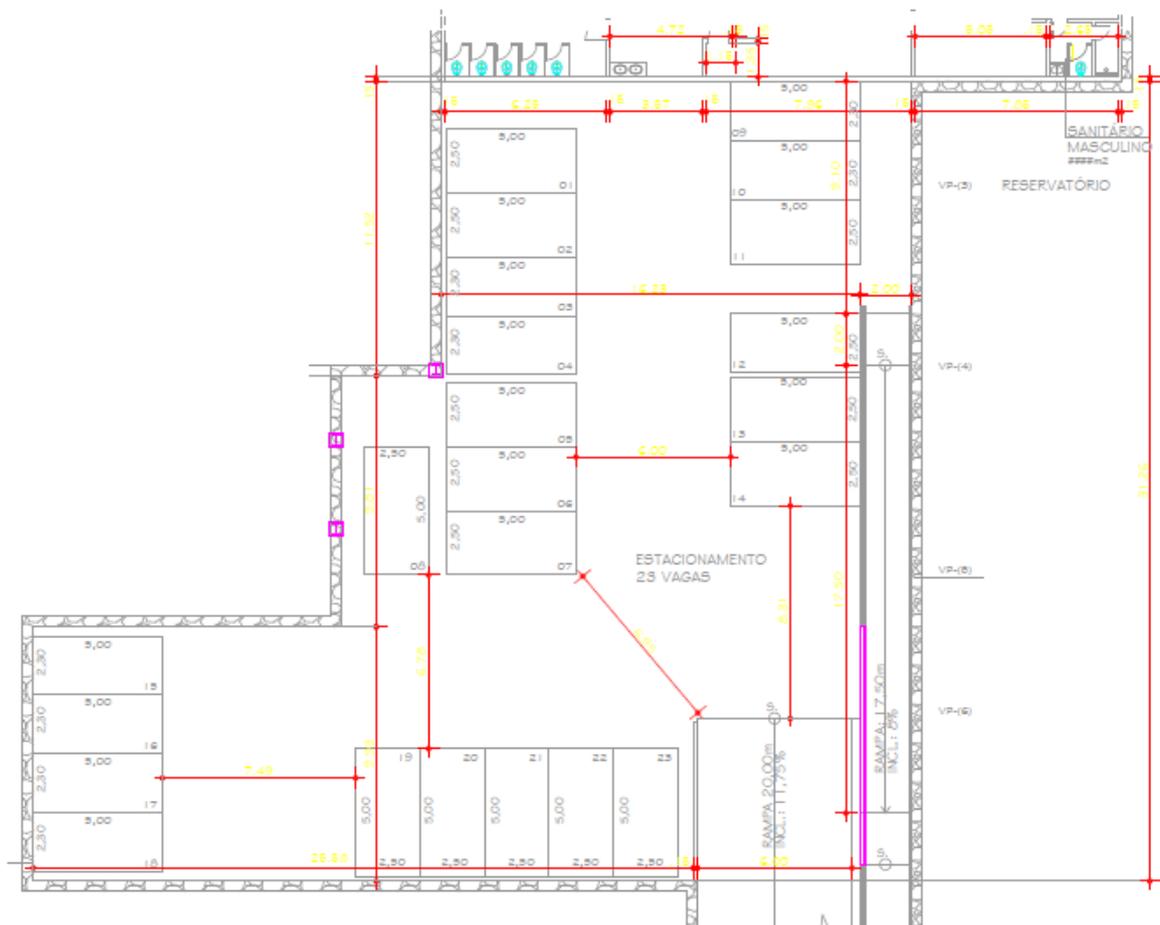
Fonte: Autor (2018).

Apesar da ligação entre o pano de alvenaria com a viga superior ter sido feita por último, como recomendado no referencial bibliográfico pesquisado, observou-se durante a fase de execução da obra que não foi utilizado nenhum dispositivo de vinculação nesse ponto. Apenas completou-se a alvenaria até a viga, em todas as ocorrências deste tipo de vinculação.

7.4 Situação atual do sistema construtivo

Com a visita ao local, após 3 anos de sua construção, constatou-se a presença de fissuras em algumas regiões de intersecção com a estrutura metálica, em outras situações não houve o surgimento dessa patologia. A região analisada da edificação foi o subsolo, cuja estrutura é bastante solicitada pelo pavimento superior ao mesmo. Na figura 36 estão destacados em planta, na cor magenta, os pilares e viga analisados.

Figura 36 - Planta baixa do local cuja estrutura foi analisada.



Fonte: Autor (2018).

A fissura da figura 37 está presente na alvenaria sobre uma viga biapoiada, onde observa-se que a fissura na região central inferior indica que a alvenaria apresenta elevada

rigidez para acompanhar a deformabilidade excessiva da viga em que está apoiada, causando desprendimento de material na base.

Figura 37- Fissura presente na região de encontro da viga com a alvenaria



Fonte: Autor (2018).

A ocorrência do problema nessa região do pano de alvenaria está relacionada somente à grande flecha da viga, o que não é comumente previsto e esperado que se ocorra, ficando a cargo do projetista limitar a flecha para que não gere esse tipo de inconveniente.

Na figura 38 observa-se um pilar de canto, o qual é ligado à alvenaria através da mesa e da alma do perfil.

Figura 38- Intersecção de alvenaria na mesa do pilar



Fonte: Autor (2018).

Na imagem 38, verifica-se que não houve fissuração na região de encontro da alvenaria com a mesa do pilar, verifica-se, porém, a patologia da corrosão no pilar, mas que não está no escopo deste trabalho sua análise.

O pano seguinte de alvenaria está ligado ao mesmo pilar da Figura 36, porém fixado na alma do perfil, como é mostrado na imagem a seguir.

Figura 39- Intersecção de alvenaria na alma do pilar



Fonte: Autor (2018).

Idem ao comentário da Figura 38, verifica-se a ausência de fissuras nesta interface, porém presença de corrosão no perfil.

Nas imagens seguintes, figuras 40 e 41, uma pequena fissura é percebida em uma parte da intersecção entre alvenaria e mesa do pilar, não sendo contínua, porém, o que indica ter sido falha na execução do reboco, e não falha de intersecção dos materiais. A situação é mostrada a seguir.

Figura 40- Intersecção de alvenaria na mesa do pilar, com presença de pequena fissura



Fonte: Autor (2018).

Figura 41- Situação do pilar anterior, visto mais de perto



Fonte: Autor (2018).

Em outra região, analisada na figura 42, percebe-se a presença de fissura logo abaixo da intersecção entre duas vigas e um pilar não aparente. Nessa região não foram utilizadas as telas recomendadas pelos métodos de revestimento de estruturas não aparentes vistos anteriormente, na revisão bibliográfica – item 5.7.1, o que justifica o surgimento de fissura nessa região. O detalhe dessa patologia é visto a seguir.

Figura 42- Fissura percebida na região de pilar não aparente



Fonte: Autor (2018).

Figura 43- Destacamento de reboco em encontro de alvenarias de duas direções



Fonte: Autor (2018).

Na Figura 43 observa-se destacamento do reboco e fissuras na região de encontro de dois panos de alvenarias provenientes de direções diferentes do plano que as contém. Além de ser uma região de fragilidade, esse encontro dos panos de alvenaria se deu a uma certa distância do apoio da viga superior a que estão fixadas, ou seja, qualquer deflexão da viga seria “sentida” primeiramente nessa região de fragilidade, e foi o que aconteceu. Uma possível solução seria o uso de vinculação deformável na interface com a viga superior, permitindo a movimentação da mesma. Ressaltando que não existiu vinculação adequada para nenhuma das interfaces entre as alvenarias e vigas superiores.

8 CONCLUSÕES

8.1 Conclusões gerais

O referencial bibliográfico permitiu obter conhecimentos acerca do que é necessário ao bom funcionamento do sistema de interação entre estrutura metálica e alvenaria no que diz respeito ao encontro dos materiais, sendo de trivial importância para o estudo de caso posterior.

Mesmo sendo, a estrutura metálica, um sistema construtivo de alta industrialização e tecnologia, pode estar agregado a sistemas de vedação que não são novidade no mundo da construção civil, quiçá um dos mais antigos. Para compensar essa diferença de idade tecnológica dos materiais, é necessária a adoção de medidas específicas para uni-los da melhor forma possível para que o sistema como um todo alcance o desempenho desejado.

Das várias formas de vinculações encontradas na bibliografia pesquisada, cada uma com sua particularidade, no caso analisado foi aplicado o dispositivo ferro-cabelo (CA 60, 5 mm) reto como conexão da alvenaria com os pilares metálicos. Mesmo sendo o dispositivo com menor resistência ao arrancamento, dentre os analisados, observou-se que até o momento da visita ao local as interfaces alvenaria-pilar não apresentaram nenhum problema relativo ao dispositivo utilizado, apenas em um dos pilares foi observada uma fissura que certamente foi motivada pela aplicação deficiente do reboco, sem um acabamento mais refinado.

Observou-se também a ausência de mastique para evitar que a interface fosse um ponto de fragilidade quanto à estanqueidade do sistema. Porém ainda não aparenta ser um problema já que não há fissuração nessa região até o momento, embora não seja uma garantia de num futuro próximo não haver tal complicação. Quanto ao pilar não aparente, não foi utilizada nenhuma tela, como sugerem os autores citados na revisão bibliográfica para estruturas revestidas, o que certamente implicou no surgimento de fissuras nessa região. Apenas foram utilizados os dispositivos ferro-cabelo.

Com relação à interface superior da alvenaria, que está em contato com a viga, mesmo sendo executado por último, não recebeu nenhum tratamento que possibilitasse a movimentação da estrutura (ocorrência de flecha) sem que danificasse a alvenaria, o que explica a ocorrência do destacamento do reboco e ocorrência das fissuras observadas. É um erro grave a ausência dessas vinculações, pois não prevê a movimentação necessária da estrutura.

Não sendo adotados todos os requisitos necessários em todas as interfaces de encontro da alvenaria com a estrutura, as medidas adotadas apresentaram sucesso em alguns pontos e insucesso em outros, estes causados pela ausência de vinculação adequada e pela deformação excessiva da estrutura. O que mostra que para um desempenho satisfatório do sistema é importante que sejam seguidas as recomendações mínimas para cada tipo de interface, seja ela no encontro da alvenaria com as vigas, seja no encontro da alvenaria com os pilares, sendo estes aparentes ou não, pois movimentações diferenciais entre os materiais sempre existirão, cabendo aos profissionais que projetam e executam, a responsabilidade de minimizar esses efeitos para conforto dos proprietários e usuários da edificação.

8.2 Sugestões para trabalhos futuros

É importante que sejam analisadas em várias situações o desempenho de cada tipo de sistema de vinculação disponível, para que se tenha conhecimento de qual solução seja a melhor para cada tipo de obra que se venha a executar. Devem ser observadas, portanto, obras que tenham o emprego dos diferentes sistemas e como cada sistema refletiu no desempenho da interface entre alvenaria e estrutura, para que haja um estudo comparativo dos métodos de vinculação, observando na prática – na situação de cada obra – o tipo de vinculação que gera o desempenho mais satisfatório, sobressalente aos demais.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15270-1: Componentes cerâmicos. Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação - Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15270-3: Componentes cerâmicos. Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-1: Edificações Habitacionais - Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-4: Edificações Habitacionais - Desempenho. Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.
- ARAUJO, A; PAES, J. L. R.; VERÍSSIMO, G. S. **Sistemas de vedação em alvenaria para edifícios de estrutura metálica: Detalhamento com base na prevenção de manifestações patológicas**. Gestão de Tecnologia de Projetos, São Paulo, v. 8, n. 2, p.27-45, jul./dez. 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.11606/gtp.v8i2.80961>. Acesso em: 29 mai. 2018, 18:28.
- BEALL, C. **Masonry design and detailing: for architects, engineers and contractors**. 4th ed. New York: McGraw- Hill, 1997. 613 p.
- BLANCO, Bruno Cunha. **Estudo de argamassas modificadas com polímero acrílico**. Trabalho de conclusão de curso. Brasília, Distrito Federal, 2014. Disponível em: <http://repositorio.uniceub.br/bitstream/235/6417/1/21112978.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2018, 23:51.
- CATÁLOGOS TÉCNICOS METFORM. **Steel Deck**. 2018. Disponível em: http://www.metform.com.br/wordpress/wp-content/uploads/2015/05/steel_deck_metform.pdf . Acesso em: 28 set. 2018, 19:57.
- CBCA, CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO. **Estrutura metálica é aposta na construção**. Disponível em: <http://www.cbca-acobrasil.org.br/site/noticias-detalhes.php?cod=7072> . Acesso em: 25 mai. 2018, 17:43.
- CBCA, CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO. **Dados sobre construção metálica**. Disponível em: www.cbca-acobrasil.org.br. Acesso em: 10 mai. 2018, 19:48.
- CHIAVERINI, Vicente. **Aços e Ferros fundidos**. 7º Edição – 1996, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais – ABM. Disponível em: <https://pt.scribd.com/doc/4455333/VICENTE-CHIAVERINI-Acos-e-Ferros-Fundidos> . Acesso em: 15 mai. 2018, 20:55.
- COELHO, R. de A. **Interface entre perfis estruturais e laminados e sistemas complementares**. 4ª. ed. São Paulo: Gerdau-Açominas, 2007. 63p. (Coletânea do uso do aço, v. 1). Disponível em: <http://www.skylightestruturas.com.br/downloads/manual-interface.pdf>. Acesso em: 16 mai. 2018, 19:25.

COELHO, R. de A. **Sistema construtivo integrado em estrutura metálica**. 2003. 157 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/FACO-5YHRTA/sistema_construtivo_integrado...._roberto_de_ara_jo_coelho.pdf?sequence=1>. Acesso em: 20 mai. 2018, 22:37.

DALDEGAN, EDUARDO. **Estrutura metálica: principais vantagens na construção civil**. Disponível em: <https://www.engenhariaconcreta.com/estrutura-metalica-principais-vantagens-na-construcao-civil/> . Acesso em: 16 mai. 2018, 20:36.

DIAS, Luis Andrade de Mattos. **Estruturas de Aço. Conceitos, técnicas e linguagem**. São Paulo: Zigurate Editora, 2002. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/260177239/estruturas-de-aco-conceitos-tecnicas-e-linguagem-1-pdf>. Acesso em: 16 mai. 2018, 22:14.

FUNDAÇÃO DE CULTURA E TURISMO DE CARUARU. **Dados Socioeconômicos e Geográficos**. Disponível em: http://visitecaruaru.com.br/pt/Sobre_Caruaru/Dados_Socioeconomicos_e_Geograficos/10/. Acesso em: 19 dez. 2018, 23:54.

GALVAMINAS, SOLUÇÃO EM FERRO E AÇO. **Estruturas metálicas: construção civil**. Postado em 26 de julho de 2017. Disponível em: <http://www.galvaminas.com.br/blog/estruturas-metalicas-construcao-civil/> . Acesso em: 16 mai. 2018.

METALFAS AÇOS E METAIS. **Perfis dobrados**. Disponível em: <http://www.metalfas.com.br/perfil-dobrado.html> . Acesso em: 16 mai. 2018, 20:40.

MOHAMAD, Gihad. **Construções em Alvenaria Estrutural – Materiais, projeto e desempenho**. São Paulo: Blücher, 2014. 355p. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/269633693_Construcoes_em_Alvenaria_Estrutural_-_Material_projetos_e_desempenho>. Acesso em: 28 jun. 2018, 23:21.

NASCIMENTO, O. L. do. **Alvenarias**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2004. 54 p. Disponível em: <<http://usuarios.upf.br/~zacarias/alvenaria.pdf>>. Acesso em: 15 mai. 2018, 17:40.

OLIVEIRA, Edna Alves. **Estudo numérico e experimental de paredes de alvenaria não estruturais reforçadas com armadura de junta submetidas à flexão no seu plano**. 2009. 290 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009. Disponível em: <<http://www.pos.dees.ufmg.br/defesas/97D.PDF>>. Acesso em: 11 jun. 2018, 23:59.

PEREIRA, Caio. **Escola engenharia: o que é alvenaria?**.2018.Disponível em:<https://www.escolaengenharia.com.br/alvenaria/> . Acesso em: 19 mai. 2018.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. **Estruturas de aço: dimensionamento prático de acordo com a NBR 8800:2008**. 8 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009. 358 p.

QUEIROZ, Gilson; PIMENTA, Roberval José; MARTINS, Alexander Galvão. **Estruturas Mistas, vol.1.** Série Manual de Construção em Aço. 2 ed. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil/CBCA, 2012.

QUEIROZ, G.; PIMENTA, R. J.; DA MATA, L. A. C. **Elementos das estruturas mistas aço-concreto.** Belo Horizonte: Editora O Lutador, 336p., 2001.

SABBATINI, Fernando Henrique. **O papel estratégico do projeto para a qualidade dos painéis pré-fabricados de fachada.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO DA QUALIDADE E ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Fortaleza: ANTAC, 2001.

SALEMA CERÂMICA. **Vantagens do bloco cerâmico para alvenaria estrutural.** 4jan 2017. Disponível em: <http://www.ceramicasalema.com.br/vantagens-do-bloco-ceramico-para-alvenaria-estrutural/>. Acesso em: 11 mai. 2018, 20:40.

SANTOS, Mariana Araújo. **Recomendações para projeto e detalhamento de juntas e interfaces utilizadas em sistemas de vedação vertical em alvenaria para estruturas de aço.** Dissertação de mestrado. Viçosa, Minas Gerais, 2016. Disponível em: <http://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/7797/texto%20completo.pdf?sequence=1&isallowed=y>. Acesso em: 19 mai. 2018, 22:51.

SCHMITZHAUS, Felipe. **Você sabe o que é um perfil cs, vs e cvs?.** Disponível em: <http://felipeschmitzhaus.blogspot.com/2015/04/voce-sabe-o-que-e-um-perfil-cs-vs-e-cvs.html>. Acesso em: 16 mai. 2018, 22:56.

TÉCHNE 73. **A difícil interface com a alvenaria.** Abril de 2003. Disponível em: http://coral.ufsm.br/decc/ecc8058/downloads/interface_estrutura_metalica_alvenaria_techne_n_73_2003.pdf. Acesso em: 20 mai. 2018, 21:37.

TÉCHNE 147. **Steel Deck.** Junho de 2009. Disponível em: <http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/147/steel-deck-287665-1.aspx>. Acesso em: 20 fev. 2019, 22:23.

THOMAZ, Ercio. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação.** 1 ed. São Paulo: Pini: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1949. 194 p.

THOMAZ, Ercio; MITIDIÉRI FILHO, Cláudio; CARDOSO, Fabiana. **Código de práticas nº1. Alvenaria de vedação em blocos cerâmicos.** São Paulo, 2009. Disponível em: <http://www.ipt.br/projeto/2-codigos_de_praticas_na_construcao_civil.htm>. Acesso em: 20 mai. 2018, 17:30.

VALLE, J. B. S. **Patologia das alvenarias. Causa / Diagnóstico / Previsibilidade.** Monografia (Especialização em Tecnologia da Construção Civil). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte – MG. 2008. Disponível em: <<http://pos.demc.ufmg.br/novocecc/trabalhos/pg1/Patologia%20das%20alvenarias.pdf>>. Acesso em: 20 mai. 2018, 23:10.