CAROLINA FLORIDO PEREIRA

ESTUDO DA CONCEPÇÃO ARQUITETÔNICA E ESTRUTURAL DE UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR EM SISTEMA *LIGHT STEEL FRAMING*

SÃO CARLOS

2019

CAROLINA FLORIDO PEREIRA

ESTUDO DA CONCEPÇÃO ESTRUTURAL DE UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR EM SISTEMA LIGHT STEEL FRAMING

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao Curso de Graduação de Engenharia Civil do Centro Universitário Central Paulista, como requisito para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. MSc. Sineval Esteves Pereira Junior

SÃO CARLOS

2019

AGRADECIMENTOS

A Deus primeiramente, Santa Trindade e Maria por sempre me iluminarem, aumentarem minha fé para superar as dificuldades e tirar muitos aprendizados dessas fases, pois sem a benção de Deus nada seria possível.

Ao meu pai Marco Antônio Pereira, que infelizmente não pode ver o nosso sonho tornando-se realidade, e a minha mãe Sonia Solange de Sales Florido Pereira, ambos foram quem sempre fez com que eu não desistisse que eu fosse forte e corajosa para chegar até onde eu pudesse sonhar; que são minhas maiores referências, em quem me espelho para ser um terço pelo menos deles. A vocês o reconhecimento vai muito além de todo o amor incondicional que sempre tiveram por mim e de qualquer palavra que eu possa escrever, agradeço a Deus por nessa vida terem sido meus pais, por me ensinarem tanto e me darem forças para continuar sempre, sem esmorecer.

À professora Luciana Maria Bonvino Figueiredo e ao professor Roberto Luiz de Arruda Barbato, na qual tenho um imenso carinho e admiração, que também me ajudaram, apoiaram nos momentos em que passei por grandes dificuldades nesses anos. Também aos professores Elaine Rodrigues Ribeiro e Caio Gustavo Pereira Denari, por me auxiliarem e se tornarem não só professores, mas amigos de profissão.

Agradeço também ao professor da matéria de TCC, Simar Vieira de Amorim e ao orientador Sineval Esteves Pereira Junior pelas correções, motivações, conversas, explicações, ainda que por mais cansados que estivessem.

Ao meu namorado e estatístico João Pedro Alvarenga Ramos da Silva, apesar de pouco tempo ser meu companheiro, amigo, psicólogo e incentivador de tudo em minha vida.

A todos os meus amigos, amizades que fiz nesses anos que vou levar para toda a vida e que também me suportam quando estou preocupada com os trabalhos. Aos meus ex-colegas de trabalho da empresa Stamade Projetos Estruturais em Madeira, a qual admiro muito e tenho muito carinho.

Por último, mas não menos importante, a minha sobrinha Laura Fernanda Cavaletti por me dar esperanças com sua inocência e a meus cachorros, que

são meus fies amigos e companheiros de todas as horas. Todos tiveram seu papel fundamental e sempre vão ser especiais para mim.

Aos professores desde o ensino básico até o médio e o cursinho pré-vestibular, por despertarem minha profunda admiração pela educação, conhecimento e paixão em aprender. Muito além de tudo que me ensinaram, vocês contribuíram para a essência do que sou hoje e me mostraram que não importa ter tudo se não tiver humildade nessa vida.

“Seja a mudança que você quer ver no mundo”.

Mahatma Gandhi.

SUMÁRIO

RESUMO XI
1. INTRODUÇÃO 1
1.1 JUSTIFICATIVA 2
1.2 OBJETIVO 3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA: O SISTEMA LIGTH STEEL FRAMING. ... 5
2.1 ELEMENTOS ESTRUTURAIS 5
2.2 ELEMENTOS NÃO ESTRUTURAIS 8
2.3 FUNDAÇÃO 8
2.3.1 Radier 12
2.3.2 Sapatas 13
2.4 O AÇO 14
2.4.1 Perfis U e U Enrigecidos 17
2.5 VERIFICAÇÕES ESTRUTURAIS 18
2.5.1 Método das larguras efetivas: 19
2.5.2 Flambagem Local 22
2.5.3 Flambagem Distorcional 23
2.5.4 Flambagem Global 26
2.5.5 Resistência da Alma 26
2.6 ORIENTED STRAND (OSB) 27
2.7 LÃ DE ROCHA 29
2.8 LÃ DE VIDRO 29
2.9 MANTA DE POLIETILENO (TYVEK) 30
2.10 PLACAS CIMENTÍCIA 31
2.11 GESSO ACARTONADO (Drywall). 32
2.12 MÉTODOS CONSTRUTIVOS 35
2.13 CONTRAVENTAMENTO 37
2.14 DESEMPENHO TERMO ACÚSTICO 39
2.14.1 Desempenho acústico 39
2.14.2 Desempenho Térmico 40
2.15 INSTALAÇÕES HIDRAÚLICAS E ELÉTRICAS 41
2.16 TELHADOS 43
2.17 LIGAÇÃO 46

2.18 HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL POPUPULAR FEDERAL MINHA CASA MINHA VIDA 48
2.19 VANTAGENS E DESVANTAGENS 51
3. MATERIAIS E MÉTODOS 53
4. CONCLUSÃO 54
REFERÊNCIAS 56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Etapas de uma laje..... 6
Figura 2 - Laje mista e impermeabilizada. 6
Figura 3 - Laje a seco e impermeabilizada. 7
Figura 4 - Esquema de construção LSF..... 8
Figura 5- Pressões Admissíveis em relação ao tipo de solos segundo a Norma Brasileira..... 9
Figura 6 – Tipos de Fundações..... 10
Figura 7 - Ilustração dos tipos de fundações rasas. 10
Figura 8 - Ilustração dos tipos de fundações profundas..... 11
Figura 9 – Ilustração da fixação de um painel a uma laje Radier 12
Figura 10 - Detalhe esquemático de fixação em sapata corrida..... 13
Figura 11 - Detalhe de ancoragem química com barra roscada..... 14
Figura 12 -Tipos de perfis de aços formados a frio para uso em sistema construtivo de paredes, piso e cobertura (NBR 6355)..... 17
Figura 13 - Diferença geométrica entre o perfil u simples e u enrijecido..... 18
Figura 14 - Distribuição de tensões..... 19
Figura 15 - Larguras efetivas de δ para cada tipo de elemento estrutural ... 20
Figura 16 - Flambagem Distorcional em barras Isoladas..... 24
Figura 17 - Valores mínimos da relação D/bw de barras com seção U enrijecido e seção Z enrijecido submetidas à compressão centrada, para dispensar a verificação da flambagem distorcional. 25
Figura 18 - Valores mínimos da relação D/bw de seções do tipo U enrijecido e Z enrijecido sob flexão simples em torno do eixo de maior inércia, para dispensar a verificação da flambagem distorcional. 25
Figura 19 - Relação Cortante/Esbeltes 27
Figura 20 - Orientação das fibras de madeira em uma placa OSB..... 28
Figura 21 – Composição de elementos para isolamento termo acústico. 29
Figura 22 – Aplicação de lã de vidro 30
Figura 23 - Composição para isolamento termo acústico de telhado com manta de polietileno. 30
Figura 24 - Esquema básico de composição de uma placa cimenticia. 31

Figura 25 -Tipos de Drywall. 33
Figura 26 – Esquema básico de composição de uma placa de Drywall. 34
Figura 27 - Construção pelo método Stich 35
Figura 28 - Pré-fabricação de painéis e montagem no local (método por painéis) 36
Figura 29 - Unidade modular em fábrica. 36
Figura 30 - Contraventamento em X do 1° PAV da TV Tower Parque Olímpico - Olimpíadas Rio 2016 39
Figura 31 - Detalhe das alvenarias externa e interna, respectivamente, em Light Steel Framing (dimensões em cm) 40
Figura 32 - Zonas Bioclimáticas Brasileiras. 41
Figura 33 - Quadros de distribuição das instalações hidráulicas de uma obra em steel frame - pré montados e testados em fábrica 42
Figura 34 - Designações dos elementos da cobertura de um telhado 43
Figura 35 - Formas de telhado em vista e em planta. 44
Figura 36 - Telhado estruturado com caibros. 45
Figura 37 - Detalhamento de beiral do telhado e da junção banzo superior e inferior de uma tesoura 45
Figura 38 - Recomendadas de parafusos em função da aplicação. 47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Revestimento mínimo das bobinas de aço..... 15
Tabela 2 - Características técnicas de placas cimentícias da Brasilit..... 32

RESUMO

A grande quantidade de resíduos gerados na construção civil e o descarte incorreto destes materiais, tornam-se cada vez mais preocupantes, com a necessidade atual o atingir objetivos sustentáveis que venham a propiciar a redução da poluição ambiental e consumo racional dos materiais. Simultaneamente aos fatores ambientais, ainda faz-se necessário observar problemas de ordem social como o déficit habitacional, que por sua vez se pode ocasionar mais desigualdade social e maiores índices de pobreza. Nesse contexto, o *Light Steel Framing (LSF)* surge para contribuir na solução de ambos os problemas já que se trata de uma construção à seco, leve e rápida perante a outros métodos construtivos. Neste trabalho serão apresentados levantamentos e estudos sobre o *Light Steel Framing*; a análise estrutural e arquitetônica do sistema, incluindo seus subsistemas não estruturais; detalhamento dos processos de execução de uma residência unifamiliar; normas e técnicas a ser seguidas para obter um ótimo desempenho, com o intuito de servir como um manual. Com isso, concluímos com base nos estudos que este método mostrou-se economicamente viável, possuindo várias vantagens; fornece benéficos e evita impactos ambientais, além de promover à redução do déficit habitacional nacional.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente o aumento da população mundial levanta questões sobre a necessidade de políticas públicas relacionadas à urbanização sustentável e sobre o papel da engenharia civil em desenvolver sistemas construtivos sustentáveis para atender à crescente demanda habitacional e que também contribuam para um desenvolvimento urbano social, econômico e ambientalmente sustentável, propiciando moradia adequada para todos.

Segundo CASTRO (2005), últimas décadas, diversos métodos construtivos industrializados têm sido utilizados em países como Austrália, Canadá, China, Estados Unidos, Inglaterra e Japão, com o objetivo de atender a esta demanda habitacional com foco em sustentabilidade. Dentre as alternativas destacam-se as soluções que atendem aos requisitos e critérios de segurança estrutural e racionalização de materiais: as construções em *Wood Frame* (sistema construtivo em madeira) e *Light Steel Framing* – LSF (sistema construtivo em perfis de aço formados a frio). Nestas tipologias de construções, os fechamentos internos são feitos por materiais com isolamento termo acústico como: chapas de OSB (*Oriented Strand Board*); placas cimentícias; Tyvek, que é um sistema de isolamento térmico impermeável (podendo ser de lã de vidro, poliéster, rocha ou isopor); *drywall* (placa de gesso) e o fechamento externo realizado por argamassa projetada ou revestimento em PVC (RODRIGUES, 2006). Estas características satisfazem as exigências atuais de elevar a eficiência produtiva na construção civil, reduzir o consumo de materiais e compor os programas de habitação de interesse social.

O *Light Steel Framing* é um sistema construtivo estruturado em perfis leves de aço conformados a frio com fechamentos em chapas delgadas (SINAT 003, 2010). Nesse sistema, as etapas podem ser realizadas em conjuntos pré-montados, em que as partes se “encaixam” até ter a forma desejada (CASTRO, 2005). Outras vantagens do sistema LSF é a redução em até cinco vezes do tempo de construção comparado à alvenaria de vedação; materiais totalmente recicláveis, incombustíveis; além de patologias mais fáceis de prever e baixo índice de desperdício de materiais na obra.

No Brasil, o sistema LSF foi introduzido no final da década de 1990 e impulsionado, a partir de 2003, pelo programa do governo federal Minha Casa Minha Vida (PMCMV), administrado pela Caixa Econômica Federal para famílias de baixa renda, quando foi oficializado que as residências em *steel framing* também entrariam como alterativa de soluções no programa de financiamento público para habitação de demanda social, desde que atendidos os requisitos e condições mínimas.

Em 2014, foi elaborada a primeira norma padrão sobre LSF: ABNT NBR 15253:2014 - Perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico, para painéis estruturais reticulados em edificações — Requisitos gerais. Esta norma atendeu, assim, a necessidade de estabelecimento de métodos e prescrições para o sistema LSF.

O sistema estrutural do sistema LSF é caracterizado por barras leves reticuladas em perfis de aço formados a frio, zincado por imersão a quente ou com revestimento de imersão a alumínio-zinco, com ligações parafusadas autobrocantes e autoatarraxantes (LIMA, 2013). Os métodos e técnicas para elaboração de projetos estruturais de sistema LSF são de alta especificidade e precisão, exigindo capacitação profissional. Por apresentar propriedades geométricas específicas de alta esbeltes, os perfis formados a frio, que constituem o sistema estrutural da construção em LSF, estão sujeitos a modos de falha por instabilidade, reduzindo a capacidade resistente da seção e consequentemente a resistência de projeto (Kimura,2014)

Este trabalho tem como objetivo apresentar as etapas de projeto, estágios construtivos e principais características de edificações residenciais em sistema LSF e exemplificar, por meio de um estudo de caso, a concepção de um projeto residencial unifamiliar.

1.1 JUSTIFICATIVA

A proposta de um sistema estrutural mais leve, com reduzidos esforços solicitantes nas fundações e materiais que produzam pouco impacto

ambiental, favorece o desenvolvimento de meios de construção a seco[1], como *Light Steel Framing.* Porém, este sistema construtivo é pouco utilizado no país, apesar de oferecer uma série de vantagens, além de ser economicamente competitivo com os métodos de construção convencionais.

O estudo proposto visa contribuir na compreensão do comportamento do sistema em *Light Steel Framing* como solução estrutural, observando as especificidades das técnicas construtivas, a partir de seu conceito e dimensionamento. Assim, neste estudo serão apresentadas todas as etapas para a realização de um projeto em LSF.

Segundo dados da reportagem mostrada pela revista Exame de junho de 2018, o ganho da área é de 4% a 5% (se comparado com uma mesma planta de edificação em alvenaria), devido à espessura das paredes de *steel frame* serem menores do que a de alvenaria (DINO, 2018).

Segundo Rocha, a estrutura pode levar a uma redução de até 40% no tempo de execução quando comparado com os processos convencionais. Já o desperdício de resíduos na obra pode chegar a 25% e pelas estruturas de aço serem mais leves, podem reduzir em até 30% o custo das fundações.

Já a Solara engenharia, levantou os seguintes dados sobre a emissão de carbono: para a construção de *steel frame* são emitidos 12,63 t de CO_2 e são necessárias 80 árvores para neutralizar a execução do projeto; já no caso da construção de alvenaria é de 41,16 t de CO2 e são necessárias 260 árvores para a neutralização do que a obra emite (SOLARA ENGENHARIA, 2016).

1.2 OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo elaborar um estudo sobre os conceitos teóricos do sistema construtivo *Light Steel Framing*, servindo de apoio para a elaboração de um projeto estrutural de uma habitação de interesse social, utilizando o sistema LSF, suas características, comportamentos e metodologias, baseando-se nas normas técnicas brasileiras regulamentadoras específicas.

[1] Construção à seco é um tipo de construção que ao longo da obra utiliza componentes que dispensa o uso de água e consequentemente garantem a estanqueidade

O presente estudo busca ainda ampliar o conhecimento sobre a concepção de projetos em LSF e apresentar as características de seus comportamentos, além de colocar em prática assuntos estudados durante a graduação, para a composição de um projeto.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA: O SISTEMA LIGTH STEEL FRAMING.

O termo *Light Steel Framing* vem do inglês, que significa em português "*light steel* = aço leve" e *framing*, que é uma variação temporal de "*frame* = estrutura", ou seja, construções de estruturas de aços leves.

Esse sistema foi desenvolvido nos Estados Unidos em meados de 1800, promovido pelo aumento da população desenfreada. A partir disso, se viram com poucos recursos e em meio ao começo da industrialização norte americana, além do avanço de suas tecnologias, o aço foi o melhor recurso para atender a demanda (BARROS, 2017).

Esse meio construtivo foi intensivamente utilizado nos Estados Unidos e Canadá, e posteriormente difundido em países do continente Europeu.

O processo construtivo resultou na criação de um método prático para o pré-dimensionamento e o dimensionamento do LSF. Porém, há algumas variações de acordo com a normatização de cada país, em função dos fatores que influenciam a estrutura, como o clima, visando a maior segurança nas construções, tanto unifamiliar como multifamiliar de até quatro pavimentos, para o caso da regulamentação brasileira (BARROS, 2017).

A parte revisão bibliográfica de embasamento do projeto será dividida em seus sistemas estruturais, subsistemas, métodos e técnicas construtivas demonstrando a concepção estrutural do projeto e a integração entre ambas as etapas.

2.1 ELEMENTOS ESTRUTURAIS

Uma estrutura é o conjunto de elementos estruturais que se interagem de maneira a resistir aos esforços solicitantes a partir do estudo da estática, possuindo propriedades estruturais de diferentes materiais e geometrias, como por exemplo:

- Pilar – é uma estrutura reticular, dimensionada para resistir a compreensão e a flambagem; servem para transmitir os esforços das estruturas para outros elementos da construção, como as fundações.

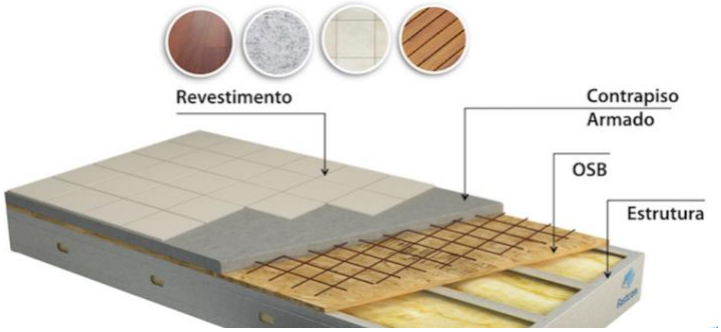
● Treliça planas ou espaciais – é uma estrutura formada por barras conectadas por rótulas em um ou três planos.

● Pórtico plano ou espacial - é uma estrutura formada por barras (vigas, pilares).

● Viga – é uma estrutura reticular que pode estar apoiada sobre pilares como também sobre outras vigas. A viga é responsável pela transferência do peso das lajes e dos demais elementos que compõe a construção (paredes, portas, escadas, etc.) para os pilares.

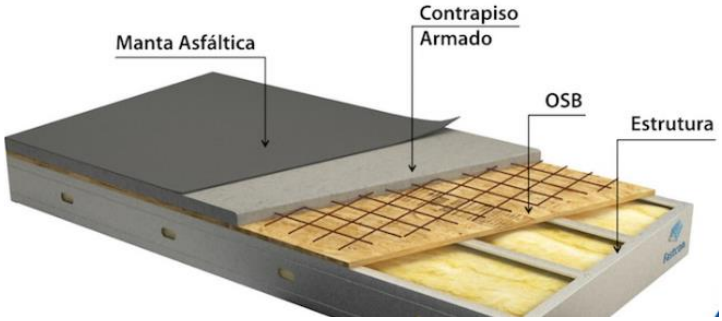
● Lajes – são estruturas laminares, ou seja, uma placa contínua apoiada em vigas e por vezes em colunas, que constitui os pavimentos e tetos de edificações estruturadas a seco ou mista (quando é feita com dois tipos de componentes estruturais, no caso aço ou ferro e concreto), OSB com esqueletos de barras metálicas. A Figura 1, Figura 2 e Figura 3 abaixo mostram a diferença entre as tipologias de laje antes do revestimento.

Figura 1 - Etapas de uma laje



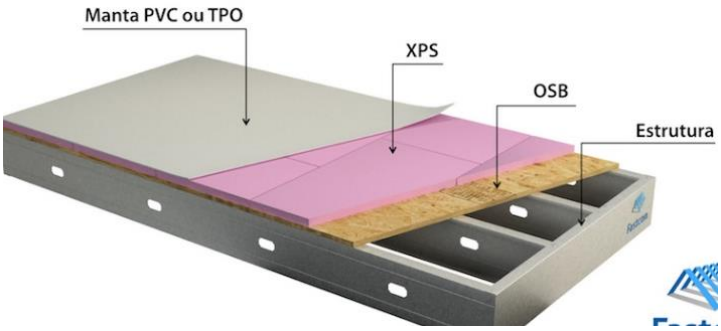
Fonte: GOUVEA, L (2015).

Figura 2 - Laje mista e impermeabilizada.



Fonte: GOUVEA, L (2015).

Figura 3 - Laje a seco e impermeabilizada.



Fonte: GOUVEA, L (2015).

O XPS é um polímero resistente com alto índice de isolamento térmico e o TPO é uma manta asfáltica de Poliolefina termoplástica.

- Montantes e Guias: são perfis verticais que servem para limitar caixilho de portas e janelas.
- Vergas e Contravergas: são elementos estruturais dispostos na alvenaria (concreto), que funcionam como pequenas vigas que auxiliam na distribuição de tensões e cargas nos vãos de portas e janelas para evitar trincas e rachaduras nas paredes e nas esquadrias.
- Bloqueadores e Conectores: são ligações entre o elemento de aço e a laje; e possuem a função de absorver os esforços de cisalhamento nas direções horizontal e vertical, impedindo o afastamento vertical entre a laje e viga de aço. Podem ser encontrados dois tipos conectores os flexíveis e rígidos.
- Cantoneiras: é um perfil metálico composto por abas laterais, podendo ser simétricas ou não, formando ângulo reto. É utilizado em construções de estruturas metálicas como reforços, ela resistência elevada a tração e compressão sem sofrer flambagem.
- Fundação: estrutura tridimensional monolítica, responsável por fornecer estabilidade e transmitir as solicitações da construção para o solo. São projetadas de acordo com as necessidades construtivas do projeto e do tipo de solo.

2.2 ELEMENTOS NÃO ESTRUTURAIS

O sistema construtivo é também composto por materiais com funções não estruturais, como preenchimento, fechamentos, vedações, isolamento termo acústico e isolamento impermeável. Mais à frente serão citados os principais materiais e suas aplicações. A seguir, a Figura 4 ilustra o esquema de uma construção em LSF.

Figura 4 - Esquema de construção LSF

Fonte: Steelman (2006)

2.3 FUNDAÇÃO

As fundações, são estruturas responsáveis por transmitir esforços da construção para o solo de forma segura, visando evitar deslizamentos de terra e problemas como trincas e rachaduras na construção. Segundo a NBR 15492:2007, são exigidos um número mínimo de ensaios de sondagem do solo de acordo com a área do terreno a ser analisada, para obter maior precisão sobre o tipo de terreno.

A Figura 5 apresenta as Pressões Admissíveis em relação ao tipo de solos segundo a Norma Brasileira.

Figura 5- Pressões Admissíveis em relação ao tipo de solos segundo a NBR 6122:2019.

TIPO DE SOLO	CARACRERIZAÇÃO	CAPACIDADE MÁXIMA Kgf/cm^2
a)	Rocha viva, maciça sem laminações, fissuras ou sinal de decomposição, tais como gnais, granito, diabase, basalto.	100
b)	Rochas laminadas, com pequenas fissuras, estratificadas, tais como : xistos e ardósias .	35
c)	Depósitos compactos e contínuos de pedras de varias rochas	10
d)	Solos concrecionados.	8
e)	Pedregulhos compactos e misturas compactas de areia e pedregulho.	5
f)	Pedregulhos fofos e misturas de areia e pedregulho, areia prossa, campacta.	3
g)	Areia grossa fofa e areia fina compcta.	2
h)	Areia fina fofa, submersa.	1
i)	Argila dura (terrenos altos e secos)	3
j)	Areia rija (terrenos altos e secos)	2
k)	Argila média (terrenos baixos, úmidos mas sem presença de água).	1
l)	Argila mole (terrenos baixos com forte presença de umidade)	Necessitam de estudos do solo local
m)	Argila muito mole (terrrenos baixos, alagados, próximo de córregos e lagoas).	
n)	Aterros	

Fonte: NBR 6122: (2019)

Existem diversos tipos de fundação que são projetadas levando em consideração os esforços solicitantes (cargas); nível do lençol freático; fundações ao redor da obra que irá ser construída; composição, comportamento e resistência do solo; e tipo de construção (pavimento térreo, sobrado ou um edifício).

Quando falamos de fundações, há dois tipos de classificações: as rasas e as profundas, detalhadas na Figura 6.

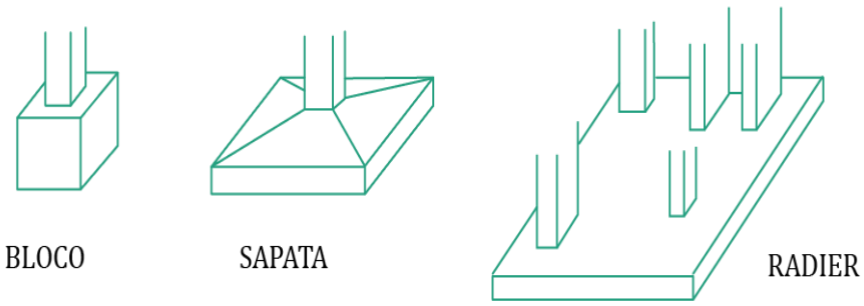
Figura 6 – Tipos de Fundações

TIPO DE FUNDAÇÃO		CARGAS (peso do prédio, da ponte, etc.)	RESISTÊNCIA (tipo de solo, capacidade de carga, etc.)
BALDRAME		Casas Térreas	Solo firme e seco
RADIER		Casas Térreas / Sobrados	Solo pouco firme e firme
SAPATA		Casas Térreas	Solo pouco firme
		Sobrados	Solo firme e seco
ESTACA	BROCA	Sobrados e Prédios Baixos	Solo firme
	STRAUSS	Prédios Baixos	Solo pouco firme
	PRÉ - MOLDADA	Prédios Altos, Pontes e Viadutos	Solo pouco firme ou com presença de água
	TIPO FRANKI	Prédios Altos, Pontes e Viadutos	Solo pouco firme
TUBULÃO	A CÉU ABERTO	Prédios Altos, Pontes e Grandes Viadutos	Quando o lençol freático é profundo
	A AR COMPRIMIDO	Prédios Altos, Pontes e Grandes Viadutos	Quando o lençol freático é raso ou quando a obra é dentro de rio, lagoa ou mar.

Fonte: Web Construir (2013)

Segundo a NBR 6122 (1994) as fundações rasas, diretas ou superficiais como por assim dizer, são feitas em uma escavação de no máximo três metros de profundidade, e são mais empregadas em terrenos de solo firme e casas de até dois pavimentos. As fundações rasas são: Viga Baldrame; Sapata; Bloco; Radier; ilustradas na Figura 7.

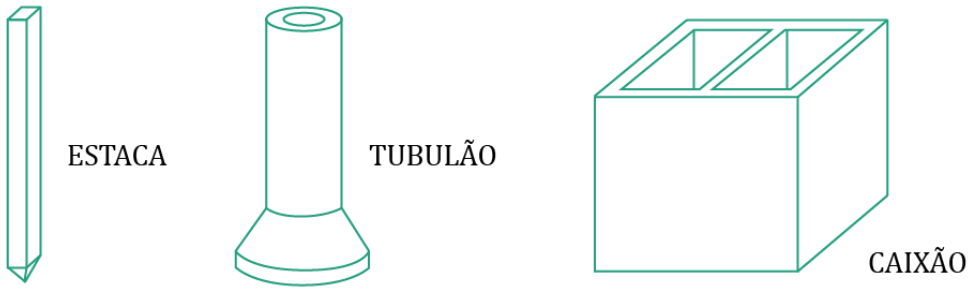
Figura 7 - Ilustração dos tipos de fundações rasas.



Fonte: Blog Me Passa Ai (2017)

A NBR 6122 (1994), ainda diz que as fundações profundas, são mais utilizadas em casos de prédios altos em que os esforços de vento se tornam mais fortes, ou em casos que o solo só atinge a resistência que é necessária em profundidades grandes. Os tipos mais comuns são: Estacas, Tubulões, Caixões, ilustrados na Figura 8.

Figura 8 - Ilustração dos tipos de fundações profundas.



Fonte: Blog Me Passa Ai (2017)

Segundo Crasto (2005), tendo que vista que o LSF é um sistema mais leves se comparado aos sistemas construtivos tradicionais, suas fundações recebem menos cargas, possibilitando, assim, uma considerável redução no dimensionamento das mesmas, e consequentemente redução do custo da estrutura. No LSF são mais utilizadas as fundações do tipo rasas como o radie ou sapatas corridas.

A fixação dos painéis na fundação é feita com o intuito de evitar a translação e a torção dos elementos da fundação do edifício quando descarregam as cargas no solo. É usada a ancoragem química com barra roscada e a expansível com o auxílio de parabolts (SOUZA,2014).

Na construção de uma edificação, a impermeabilização dos elementos de fundação é um cuidado de extrema importância para assegurar a durabilidade das estruturas. Isso se deve ao fato dos elementos de fundação estarem em contato permanente e direto com a umidade do solo. Assim, quando não tratados, a umidade é conduzida por capilaridade, fazendo com que haja infiltrações nas alvenarias e elementos estruturais, causando vários danos.

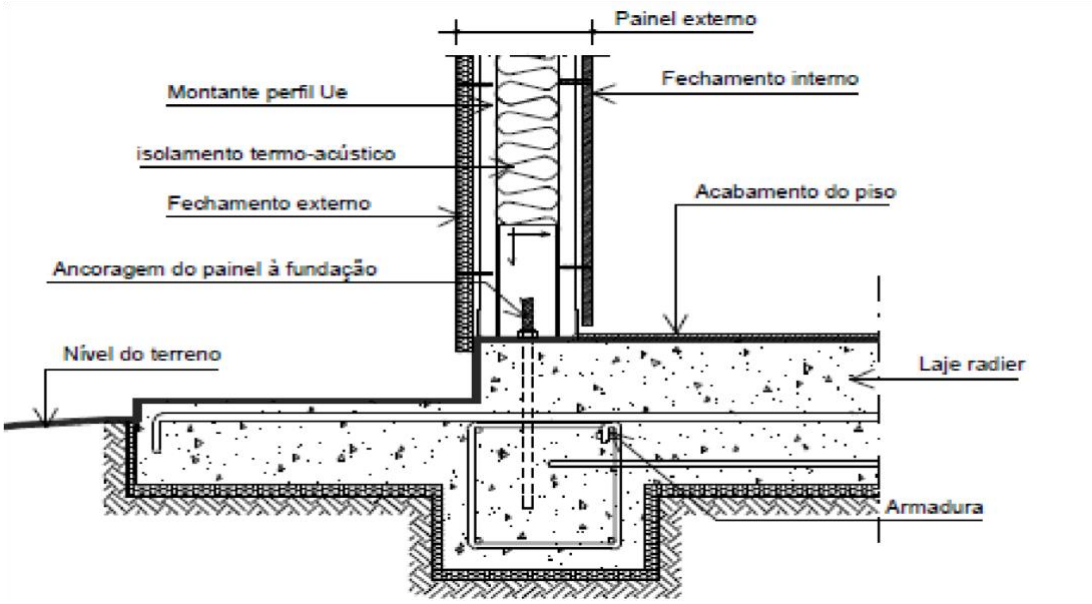
Para o caso de sapatas, é realizado o capeamento com argamassa impermeável nos recortes, seguido da aplicação de tinta asfáltica. Já os Radier, que costumam ser mais extensos, costumam receber sistemas de impermeabilização flexíveis, como as mantas asfálticas, seguido de outra camada de contra piso para aumentar a resistência técnica do processo.

2.3.1 **Radier**

O Radier é uma laje contínua que distribui as cargas da estrutura para o meio externo. Os componentes estruturais fundamentais do Radier são a laje contínua de concreto, as vigas no perímetro da laje e sob as paredes estruturais ou colunas, e onde mais forem necessárias para fornecer rigidez no plano da fundação. Sempre que o tipo de terreno permite, a laje Radier é a fundação mais comumente utilizada para construções em Light Steel Framing (BRASILIT, 2014).

A Figura 9 ilustra a fixação de um painel a uma laje Radier.

Figura 9 – Ilustração da fixação de um painel a uma laje Radier

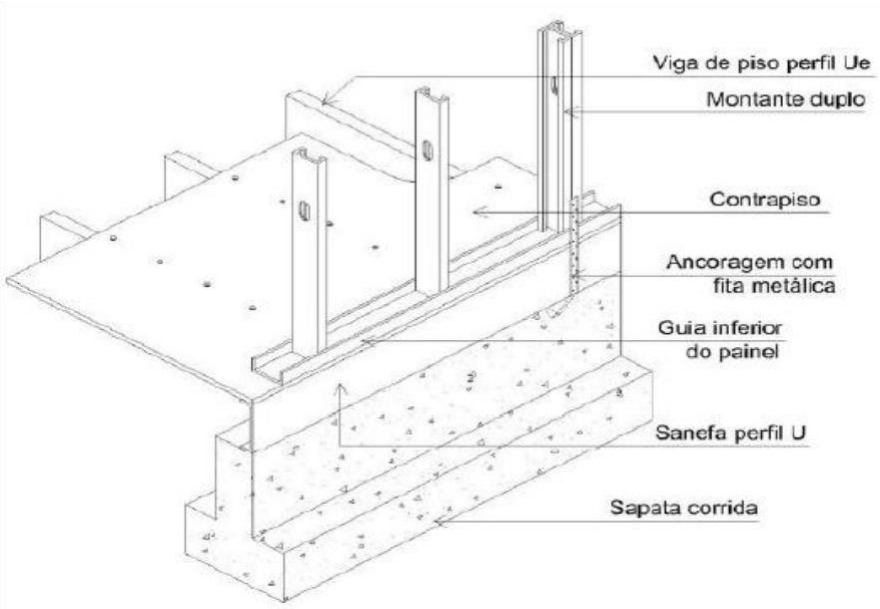


Fonte: Brasilit (2014)

2.3.2 Sapatas

Sapata corrida é um tipo de fundação indicada para edificações com paredes portantes, onde a distribuição é contínua ao longo das mesmas. Constituídas de vigas de concreto armado, de blocos de concreto ou alvenaria, são alocadas sob os painéis estruturais do LSF (CRASTO, 2005). A Figura 10 apresenta o detalhe esquemático de fixação em sapata corrida.

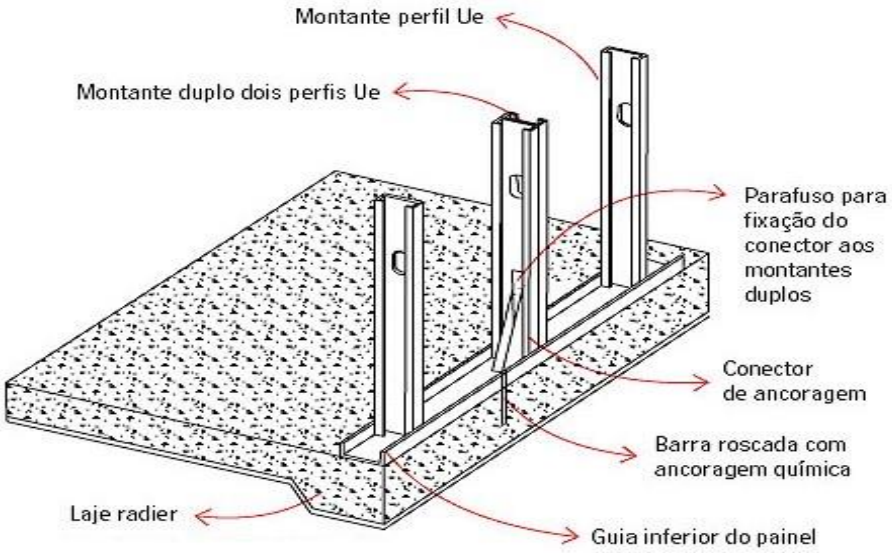
Figura 10 - Detalhe esquemático de fixação em sapata corrida



Fonte: Brasilit (2014)

A fixação dos painéis na fundação é feita com o intuito de evitar a translação e a torção dos elementos da fundação do edifício quando descarregam as cargas no solo. É usada a ancoragem química com barra roscada e a expansível com o auxílio de parabolts. A Figura 11 ilustra o detalhe de ancoragem química com barra roscada.

Figura 11 - Detalhe de ancoragem química com barra roscada



Fonte: Brasilit (2014)

2.4 O AÇO

O aço é um material muito utilizado na construção civil por suas propriedades físico-químicas e mecânicas, isto é, por ser estável em diversas intempéries, resistente à corrosão, já que é um aço galvanizado; alta ductilidade, bem como por ser reciclável. Sua utilização confere aos projetos uma redução dos impactos ambientais na ordem de 40%, segundo a reportagem da CBCA, pulicada no dia 06/11/2014 (BONAFÉ, 2014).

Atualmente, o *steel frame* vem ganhando cada vez mais espaço na construção civil, não só pela rapidez de construção, mas também por permitir trabalhar com várias configurações arquitetônicas, como por exemplo vãos de aberturas maiores e pé direito alto, o que aumenta a sensação de conforto para o ambiente.

No LSF o aço utilizado é os de perfis formados a frio. O processo de fabricação é mecânico, em que o metal é moldado à temperatura ambiente a partir de bobinas de aço Zincado de Alta Resistência (ZAR) com resistência ao escoamento (fy) maior do que 230 MPa para perfis com função estrutural, segundo recomendações da ABNT NBR 15253:2014.

O processo de fabricação é controlado para que haja um revestimento mínimo nas bobinas, sendo este em zinco ou liga alumínio-zinco, feito por uma

contínua imersão à quente, conforme normas técnicas ABNT NBR 7008-1:2012, ABNT NBR 7008-3:2012 e ABNT NBR 15578:2008. (BARROS, 2017). As massas mínimas exigidas pelas normas citadas acima estão resumidas na Tabela 1**Error! Reference source not found.**.

Tabela 1 - Revestimento mínimo das bobinas de aço

Tipo de revestimento	**Perfis Estruturais**	
	Massa mínima do revestimento a g/m²	**Denominação do revestimento conforme as seguintes normas**
Zincado por imersão a quente	275 (ABNT NBR 7008-1)	Z275 (ABNT NBR 7008-1)
Alumínio-zinco por imersão a quente	150 (ABNT NBR 15578)	AZ150 (ABNT NBR 15578)
A massa mínima refere-se ao total nas duas faces (média do ensaio triplo)		

Fonte: ABNT NBR 15223(2014).

Entretanto, para o correto dimensionamento desse elemento é necessário conhecer em relação às demais estruturas, tais como as de concreto ou mesmo as compostas por perfis soldados ou laminados de aço. Por serem constituídas de perfis com seções abertas e de pequena espessura, as barras, que possuem baixa rigidez à torção, podem ter problemas de instabilidade, deformações excessivas ou atingir os limites da resistência do aço devido aos esforços de torção. Essa susceptibilidade à torção ocorre até mesmo em carregamentos aplicados no centro geométrico da seção transversal de vigas e de pilares, podendo tornar-se crítico caso a estrutura não seja projetada adequadamente (SILVA, EDSON LUBAS, 2008).

Os conhecimentos dos esforços internos clássicos, ensinados nos cursos de resistência de materiais, momentos fletores em torno dos eixos x e y, momento de torção e esforços cortantes paralelos aos eixos x e y, não são suficientes para compreender o comportamento das estruturas de seção aberta formadas por chapas finas. É necessário entender também outro tipo de fenômeno que ocorre nessas estruturas: o empenamento (SILVA, EDSON LUBAS, 2008).

Para CHODRAUI(2006), outro fenômeno comum nos perfis de seção aberta é a distorção da seção transversal, que consiste em um modo de instabilidade estrutural onde a seção transversal perde sua forma inicial quando submetida a tensões de compressão, causando perda significante na sua capacidade de resistir aos esforços.

A capacidade de resistência das barras considerando as instabilidades globais relacionadas com a torção está diretamente associada à rigidez, à flexão $E.I_y$ e à rigidez à torção da seção. A parcela da torção depende não apenas do termo correspondente à chamada torção de *Saint Venant* ($G.I_t$), mas igualmente da rigidez ao empenamento da seção, $E.I_w$. Quanto mais finas as paredes da seção do perfil, menores os valores das propriedades I_t e I_w. Essas parcelas são proporcionais ao cubo da espessura *t* das paredes, sofrendo grandes variações para pequenas alterações no valor da espessura. Além dos fenômenos de instabilidade, a barra pode estar sujeita à torção (SILVA, 2014).

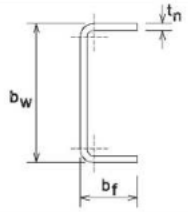
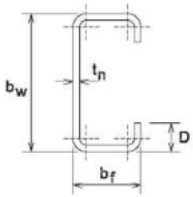
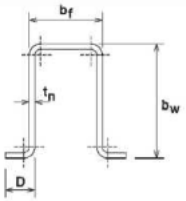
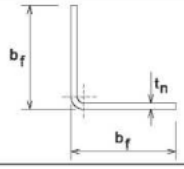
Fazendo um adendo, o princípio de *Saint-Venant* estabelece que, conhecida uma solução qualquer, o que resolve o do problema das regiões próximas às extremidades. *Saint-Venant* propôs então resolver o problema indiretamente, com base em certas hipóteses iniciais sugeridas pela intuição e por observações experimentais. Se a solução assim encontrada atende às equações das três hipóteses, o problema está resolvido (FRUCHTENGARTEN,2014). As hipóteses formuladas por *Saint-Venant* (1855) são as seguintes:

a) A rotação da barra em torno do eixo longitudinal varia linearmente ao longo do comprimento, ou seja, a rotação específica é constante.
b) As seções transversais empenam (deixam de ser planas) e o empenamento é o mesmo para todas as seções transversais; sua intensidade é proporcional à rotação específica.
c) A forma da seção transversal não se altera, ou seja, não são consideradas distorções da seção transversal em seu próprio plano x e y, tomando-se a origem O de um sistema de eixos coordenados numa das extremidades da barra e o eixo de rotação coincidente com o eixo z, pode-se expressar a rotação em torno de z e os deslocamentos no plano da seção transversal de um ponto M qualquer da barra de coordenadas x,y,z; sendo M um ponto de cisalhamento puro não ocorre distorção da seção transversal em seu próprio plano, já que $\gamma xy = 0$. (FRUCHTENGARTEN,2014).

Devido ao processo de fabricação de um perfil formado a frio e a sua integração com a arquitetura, pode-se utilizar elementos com diferentes geometrias, desde que, se tenha comprovação técnica do seu desempenho

em uso e estar de acordo com as normas aplicáveis, além de listadas na diretriz SINAT 003/2018.

Figura 12 -Tipos de perfis de aços formados a frio para uso em sistema construtivo de paredes, piso e cobertura (NBR 6355)

SEÇÃO TRANSVERSAL	SÉRIE Designação NBR 6355:2003	Utilização
	U simples U b_w x b_f x t_n	Guia Ripa Bloqueador
	U enrijecido Ue b_w x b_f x D x t_n	Bloqueador Enrijecedor de alma Montante Verga Viga
	Cartola Cr b_w x b_f x D x t_n	Ripa
	Cantoneira de abas desiguais L b_{f1} x b_{f2} x t_n	Cantoneira

Fonte: Diretriz SINAT n°03 –Revisão 001 (2012)

Apesar disso, tornou-se comum a utilização de algumas formas típicas de perfis, como: seções do tipo L (cantoneiras), U simples e U enrijecido (Ue ou C) para reforço de alma, montantes, vigas e vergas.

No Brasil, as seções transversais de séries comerciais seguem o padrão de medidas recomendado pela ABNT NBR 15253:2014, que destaca também as propriedades dos perfis mais utilizados em estruturas de painéis reticulados para edificações de até dois pavimentos (BARROS, 2017).

2.4.1 **Perfis U e U Enrigecidos**

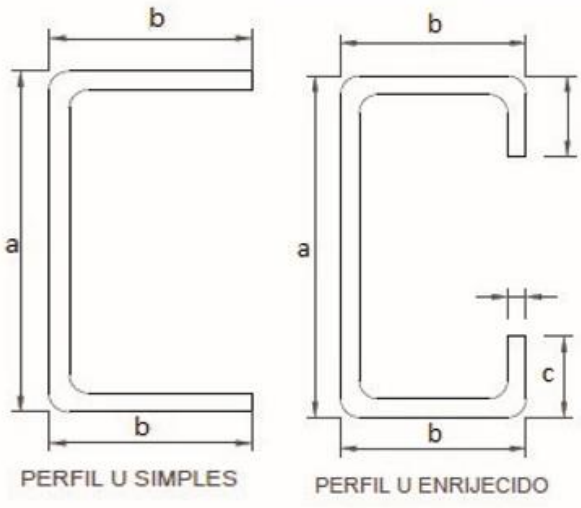
Entre todos os tipos de perfis estruturais do aço, o *Perfil U* e o *Perfil U Enrijecido* são os mais utilizados, além de mais versáteis. O modelo U simples segue a mesma lógica da cantoneira (ou perfil L), sendo composto por três chapas que dão origem à sua forma.

Além disso, o *Perfil U Simples* possui elevada resistência e é leve, o que também o leva a ser utilizado em esquadrias, corrimão de escada, sinalizações de trânsito, entre outros.

O *Perfil U Enrijecido* é uma variação do *Perfil U* , feita a partir de uma placa de aço laminado. Este possui algumas características iguais ao perfil anterior, porém mais resistente. A diferença notória está associada à existência dobras internas na parte que fica aberta do modelo enrijecido, comumente utilizado em vigas, vergas, escoras e implementos rodoviários.

As construções feitas com *Perfil U Enrijecido*, em comparação a outros materiais, oferecem redução de peso de até 1/3 das estruturas, aumentando a produtividade em até 3 vezes, reduzindo custos com materiais, mão-de-obra e tempo e também podendo ser produzido em um comprimento de até 12 metros.

Figura 13 - Diferença geométrica entre o perfil u simples e u enrijecido



Fonte: Gonzales (2016)

2.5 **VERIFICAÇÕES ESTRUTURAIS**

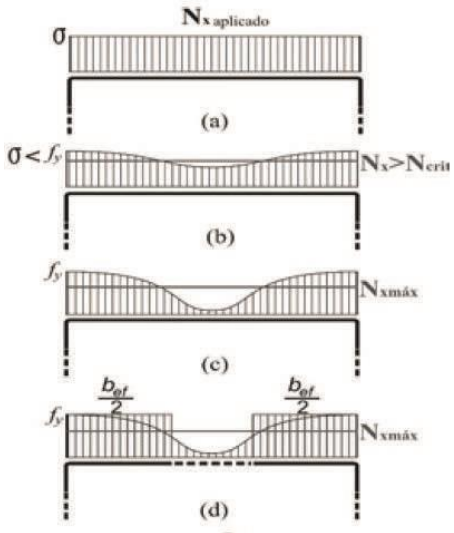
O estado limite último de serviço, estado limite de serviço, flambagem global, local e lateral são algumas das verificações estruturais utilizadas para saber a resistência dos elementos e o comportamento da estrutura. Para cada elemento da peça, deve-se verificar resistência, pois um elemento pode ser resistente, enquanto o outro não, causando assim, ruptura naquele ponto (NBR 6118,2014).

Além disso há características e condições que tornam os elementos mais ou menos sucessíveis à ruptura. Por exemplo condições de contorno: condição AA - elemento simplesmente apoiado, ou seja, dois vínculos; e condição AL - elemento com um apenas vínculo; a partir disso conseguimos saber o centro geométrico dela e as verificações para cada um dos tipos (NBR 6355:2012).

2.5.1 Método das larguras efetivas:

Segundo Gonzales (2016), o conceito de larguras efetivas consiste em substituir o diagrama da distribuição de tensões não uniformes por dois trechos de distribuição de tensões uniformes, desconsiderando a parte central do elemento, já flambada (ver Figura 14 item d).

Figura 14 - Distribuição de tensões



Fonte: Silva, Pierin e Pignatta (2014, p. 26)

Conforme a NBR 14762:2010, “a largura efetiva é a largura de um elemento, reduzida para efeito de projeto devido à flambagem local”.

Segundo a NBR 14762 (2010), os cálculos envolvem e relacionam os seguintes parâmetros: tipo da condição de contorno, índice de esbeltes, largura da região comprimida do elemento, largura efetiva, espessura do elemento, módulo de elasticidade do aço, coeficiente de flambagem local, tensão crítica de flambagem elástica do elemento, coeficiente de Poisson do aço e tensão axial de compressão. A Figura 15 apresenta uma tabela de larguras efetivas de δ para cada tipo de elemento estrutural.

Figura 15 - Larguras efetivas de δ para cada tipo de elemento estrutural

Descrição	δ [a]
- Travessas de fechamento	$L/180$ [b]
	$L/120$ [c d]
- Terças de cobertura [g)]	$L/180$ [e]
	$L/120$ [f]
- Vigas de cobertura [g)]	$L/250$ [h]
- Vigas de piso	$L/350$ [h]
- Vigas que suportam pilares	$L/500$ [h]
Vigas de rolamento: [j)] - Deslocamento vertical para pontes rolantes com capacidade nominal inferior a 200 kN - Deslocamento vertical para pontes rolantes com capacidade nominal igual ou superior a 200 kN, exceto pontes siderúrgicas - Deslocamento vertical para pontes rolantes siderúrgicas com capacidade nominal igual ou superior a 200 kN - Deslocamento horizontal, exceto para pontes rolantes siderúrgicas - Deslocamento horizontal para pontes rolantes siderúrgicas	 $L/600$ [i] $L/800$ [i] $L/1000$ [i] $L/400$ $L/600$
Galpões em geral e edifícios de um pavimento: - Deslocamento horizontal do topo dos pilares em relação à base - Deslocamento horizontal do nível da viga de rolamento em relação à base	 $H/300$ $H/400$ [k l]
Edifícios de dois ou mais pavimentos: - Deslocamento horizontal do topo dos pilares em relação à base - Deslocamento horizontal relativo entre dois pisos consecutivos	 $H/400$ $h/500$ [m]

Fonte: Notas de aula Estruturas Metálicas - Sineval Steves, (2019)

Para a verificação da força resistente à tração, se apresenta apenas na seção bruta da barra, que corresponde a verificar se, ao longo da barra, a força resistente é superior a força solicitante. A solicitação de tração está baseada na consideração de que, se a força de tração for centrada, a distribuição de tensões é uniforme (NBR 14762:2010). Na equação apresentada abaixo 1.1, mostra que as peças tracionadas não devem ter um índice de esbeltes superior a 300.

Equação 1:

$$\lambda = \frac{L}{r} \leq 300$$

L - comprimento da barra

λ – índice de esbeltes

r - raio de giro

Já para a verificação da força resistente à compressão, deve-se verificar se a força resistente ao longo da barra é superior a força de solicitação de compressão. Gonzales (2016), ainda cita que deve-se considerar os seguintes parâmetros, que dependem da configuração da seção, da espessura do material e do comprimento da peça:

- Escoamento;
- Flambagem Global:
- Flambagem por flexão;
- Flambagem torsional (FLT);
- Flexo-Torsão;
- Flambagem Local individual dos elementos da seção;
- Flambagem distorcional para perfis de seção aberta com enrijecedores.

Lembrando que o colapso por flambagem local só ocorre em peças de caráter semi-compacto e esbeltos, pois quanto menor o momento de inércia em um dos sentidos, mais sucessível será a flambagem no mesmo.

Segundo a NBR 14762:2010, a força de compressão resistente de cálculo deve ser o menor valor entre força resistente de cálculo, devido à instabilidade por distorção da seção transversal. O limite de esbeltes das peças comprimidas, apresentado pela Equação 2, não pode exceder o valor de 200.

Equação 2:

$$\lambda = \frac{KL}{r} \leq 200$$

Onde:

KL - comprimento efetivo de flambagem da barra.

λ – índice de esbeltes.

r - raio de giro.

A tensão axial de compressão dos elementos é imposta a partir do estado limite último e estado limite de serviço:

a) Estado-limite último de escoamento da seção: está relacionado ao colapso total ou parcial da estrutura estudada, que determine a interrupção no uso da edificação parcial ou total.

b) Estado-limite último de serviço da seção: definido no item 10.4 da NBR 6118:2014, os estados limites de utilização estão ligados à durabilidade, aparência e boa utilização das estruturas. Os ELS são definidos de acordo com o item 3.2 da NBR 6118:2014.

2.5.2 Flambagem Local

A flambagem local ocorre quando a relação larguras/espessuras nas seções atingem valores altos, pois a tensão de escoamento é atingida no ponto mais distante da linha neutra, ou seja:

Equação 3:

$$\frac{b}{t} \geq \frac{b}{t} lim$$

Para verificar se há possibilidade de flambagem local ou não, admite-se que a tensão limite é igual a tensão de escoamento do material. Já a determinação da resistência da seção a flambagem local se dá com base nos métodos das larguras efetivas a partir das seguintes equações:

Equação 4:

$$N_c = \frac{f_y \times A_{ef}}{1{,}10}.$$

Onde:

Aef - área efetiva da seção.

σ - tensão atuante.

fy - tensão de escoamento do aço.

Equação 5:

$$\lambda x = \quad lx/Yx$$

Onde:

Λx - índice de flambagem

Lx - largura efetiva

Yx - comprimento de flambagem.

2.5.3 Flambagem Distorcional

A flambagem distorcional é caracterizada pela alteração da forma inicial da seção, ocorrendo uma rotação dos elementos que estão submetidos a compressão. Sobre a flambagem distorcional, Carvalho, Grigoletti e Barbosa (2014) dizem:

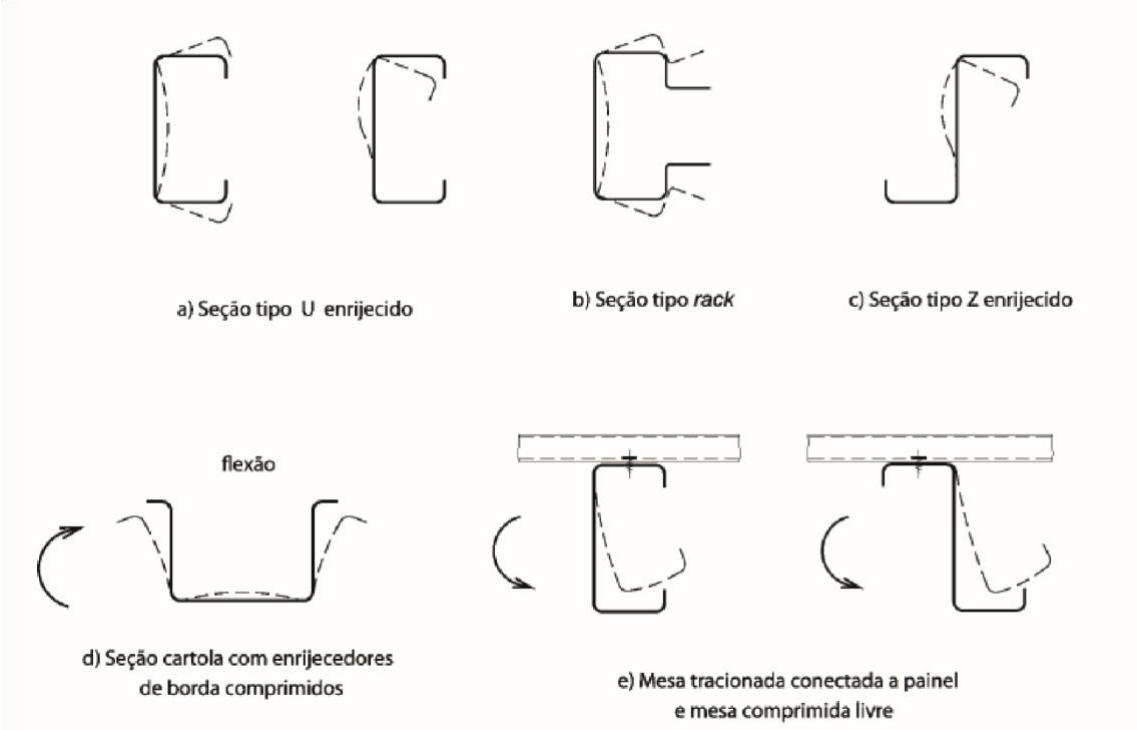
> A flambagem por distorção caracteriza-se por um abaulamento da alma e consequentemente rotação das mesas do perfil, mantendo igual o ângulo entre elas. Esta forma de colapso acontece quando há interação entre os modos de flambagem de cada elemento que forma o perfil (CARVALHO; GRIGOLETTI; BARBOSA, pág. 99, 2014)

Segundo Yu e LeBoube (2010), para algumas seções abertas com enrijecedores, a flambagem distorcional pode ser crítica.

Para Gonzales, para os perfis U simples não há necessidade de verificar a flambagem distorcional, a não ser no caso de perfis submetidos a flexão a Figura 16.e.

A Figura 16 ilustra a flambagem distorcional para barras isoladas (Figura 16 itens a ao d), onde se utiliza a teoria da estabilidade elástica. Para barras com painel conectado a mesa tracionada e a mesa comprimida livre é apresentada a Figura 16 itens e.

Figura 16 - *Flambagem Distorcional em barras Isoladas*



Fonte: ABNT (2010)

Os valores de bf, bw, t e D, segundo a NBR 14762:2010, são apresentados na Figura 17 e Figura 18.

Figura 17 - Valores mínimos da relação D/bw de barras com seção U enrijecido e seção Z enrijecido submetidas à compressão centrada, para dispensar a verificação da flambagem distorcional.

	b_w/t				
b_f/b_w	250	200	125	100	50
0,4	0,02	0,03	0,04	0,04	0,08
0,6	0,03	0,04	0,06	0,06	0,15
0,8	0,05	0,06	0,08	0,10	0,22
1,0	0,06	0,07	0,10	0,12	0,27
1,2	0,06	0,07	0,12	0,15	0,27
1,4	0,06	0,08	0,12	0,15	0,27
1,6	0,07	0,08	0,12	0,15	0,27
1,8	0,07	0,08	0,12	0,15	0,27
2,0	0,07	0,08	0,12	0,15	0,27
NOTA 1 b_f, b_w, e D são as dimensões nominais dos elementos, conforme indicado nas Figuras da Tabela 9.					
NOTA 2 Para valores intermediários, interpolar linearmente.					

Fonte: ABNT (2010).

Figura 18 - Valores mínimos da relação D/bw de seções do tipo U enrijecido e Z enrijecido sob flexão simples em torno do eixo de maior inércia, para dispensar a verificação da flambagem distorcional.

b_f/b_w	b_w/t				
	250	200	125	100	50
0,4	0,05	0,06	0,10	0,12	0,25
0,6	0,05	0,06	0,10	0,12	0,25
0,8	0,05	0,06	0,09	0,12	0,22
1,0	0,05	0,06	0,09	0,11	0,22
1,2	0,05	0,06	0,09	0,11	0,20
1,4	0,05	0,06	0,09	0,10	0,20
1,6	0,05	0,06	0,09	0,10	0,20
1,8	0,05	0,06	0,09	0,10	0,19
2,0	0,05	0,06	0,09	0,10	0,19
NOTA 1 b_f, b_w, e D são as dimensões nominais dos elementos, conforme indicado nas figuras da Tabela 9.					
NOTA 2 Para valores intermediários, interpolar linearmente.					

Fonte: ABNT (2010).

2.5.4 Flambagem Global

A flambagem global da seção é um dos principais tipos de fenômenos que causam a ruptura nos PFF, que são sujeitos a esforços de compressão. Há três classificações para esse tipo de colapso: Flexão, torção e flexo-torção.

A flambagem por flexão ocorre em perfis duplamente simétricos, ou de seção cheia e sua deformada se dá com o perfil se transladando paralelo a si próprio.

> “ A flambagem por torção ocorre em perfis duplamente simétricos, ou com rigidez torsional muito pequena, a deformada do perfil flambado tem sua seção rotada, mantendo seu eixo na posição original. Já a flambagem por flexo-torção ocorre em perfis com um ou nenhum eixo de simetria, se caracterizando pela deformada com um translado do eixo do perfil para a posição deformada e uma rotação da seção em torno do centro de corte, devido à interação entre os modos de flambagem anteriores, torção e flexão” (GONZALES, 2017).

2.5.5 Resistência da Alma

De acordo com Carvalho, Grigoletti e Barbosa (2014), desde o princípio do estudo de estruturas metálicas é dito que os perfis metálicos resistem bem ao esforço cortante, isso para perfis com almas relativamente espessas. Isso não é necessariamente válido para PFF, onde suas almas são esbeltas e a falha por corte pode ser preponderante e que o projeto de almas é governado por:

a) Escoamento por corte: seguindo o critério de Von Mises em que, quando uma fy, alma robusta submetida ao corte, escoara com tensão média de aproximadamente $\sqrt{3}$. Atentando-se também para a região onde o corte e a flambagem interagem.

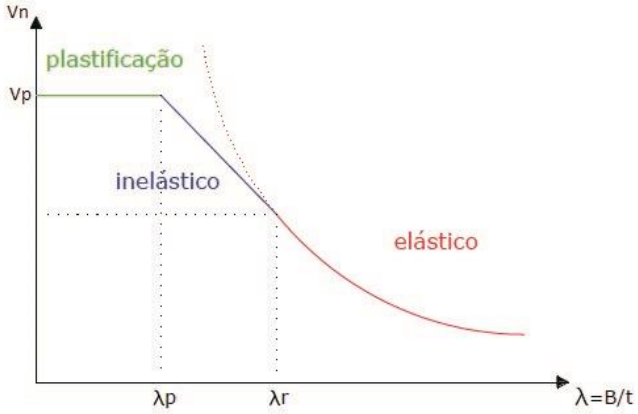
b) Flambagem por corte: utilizando uma relação diferente do coeficiente de flambagem do que o atribuído para placas comprimidas.

c) Flexão de almas: utilizando o conceito das larguras efetivas para a parte comprimida da alma fletida.

d) Almas com combinação de flexão e corte: devido à combinação das duas solicitações, a resistência da alma diminui.

Também pode se realizar uma analogia com os perfis robustos, em que apresentam uma relação entre a solicitação e a esbeltes da alma, onde a resistência da mesma é definida a partir do regime em que se encontra o elemento, seja ele no regime plástico, regime inelástico e regime elástico. A relação entre a solicitação cortante e a esbeltes é ilustrado na Figura 19.

Figura 19 - Relação Cortante/Esbeltes



Fonte: Notas de aula ENG01110

2.6 **ORIENTED STRAND (OSB)**

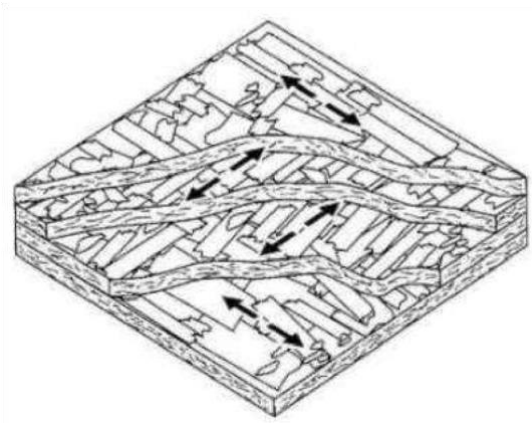
A *oriented strand* ou chapas de madeira orientadas, comumente conhecidas como OSB, são constituídas de fibras de madeira e unidas por resinas para serem prensadas formando no mínimo três camadas. Quanto a sua resistência mecânica, possui alta rigidez, baixo peso, facilidade de instalação e manuseio.

A principal utilização desse material é na aplicação de partes estruturais, como forros para telhados, fechamento de painéis estruturais, além de auxiliar no isolamento termo acústico.

As medidas das chapas são fabricadas em 1,2 metros de largura e 2,4 metros, sua espessura varia de 6mm à 18mm. Essas medidas devem ser levadas em conta quando for feito um dimensionamento, pois quando à os distanciamentos são relativamente pequenos entre montantes, aumenta a rigidez e consequentemente melhora a distribuição das cargas atuantes de

forma a não exigir tanto das viga de piso e tesoura de telhados componentes do sistema estrutural. O distanciamento entre os montantes varia de 300 mm a 600 mm, ou seja, sendo utilizado medidas correspondentes a múltiplos de 1,2 metros.

Figura 20 - Orientação das fibras de madeira em uma placa OSB



Fonte: Dias *et al.* (2004).

A densidade da matéria prima utilizada é uma das propriedades mais importantes, pois afeta a densidade final do painel e as suas propriedades mecânicas. Madeiras de baixa densidade permitem razões de compactação mais elevadas, o que aumenta a superfície de contato entre as partículas de madeira, melhorando a adesão entre elas. Além disso, madeiras de baixa densidade geram painéis com maior uniformidade e que possuem alta capacidade de distribuição de forças, melhorando suas propriedades de resistência à flexão estática e às ligações internas. As madeiras utilizadas na fabricação da placa de OSB têm densidade em torno de 600 a 800kg/m³, isto é, característica de madeiras macias de menos resistência mecânica (BASTOS, 2009).

2.7 **LÃ DE ROCHA**

A lã de rocha é composta de fibras inorgânicas formadas, constituídas de rochas basálticas e outros minerais. Ao ser colocada entre os perfis e fechamentos, exerce a função de auxiliar no isolamento termo acústico.

Como vantagens destaca-se que são facilmente aplicáveis, o material é inodoro, imputrescível e incombustível.

Figura 21 – Composição de elementos para isolamento termo acústico.

Fonte: Amplitude Soluções Acústicas Ltda (2019).

2.8 **LÃ DE VIDRO**

A lã de vidro é composta de fibras sintéticas de resinas de vidro, sílica, sódio e areia. Sua textura é porosa permitindo melhor absorção do de ondas acústicas, criando uma fricção entre a lã e as ondas, a qual transforma uma parte dessa energia em calor, assim diminuindo a emissão dessas ondas.

Esse material suporta umidade; previne proliferação de bactérias, insetos; é leve e incombustível; porém não resiste a temperaturas acima de 800°C e deve ser aplicada por técnicos capacitados.

Figura 22 – Aplicação de lã de vidro

Fonte: Chauffage para arquitetos (2019).

2.9 **MANTA DE POLIETILENO (TYVEK)**

A manta de polietileno ou como mais conhecida por Tyvek ,é um produto do tipo TNT constituído por polipropileno de fibra de olefina, suas fibras possuem a espessura de 0,5 a 10 micrometros. As vantagens são, facilmente aplicáveis, difícil de rasgar, leve e duradoura.

Figura 23 - Composição para isolamento termo acústico de telhado com manta de polietileno.

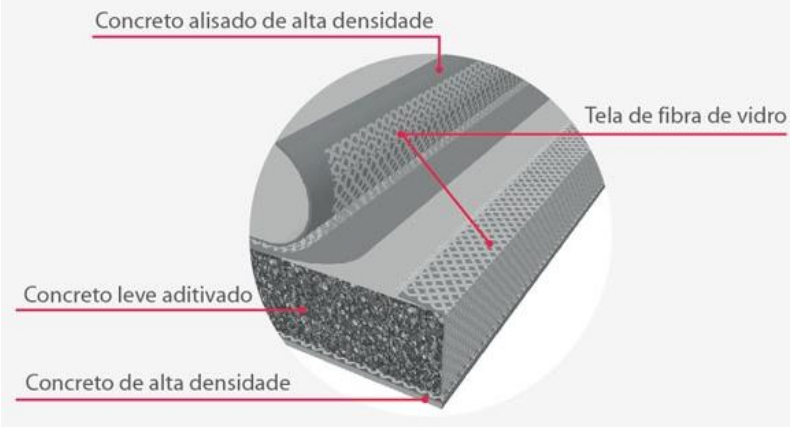
Fonte: Plataforma Arquitetura (2011).

2.10 PLACAS CIMENTÍCIA

Segundo Loturco (2003), é possível definir como placa cimentícia toda chapa delgada que contém cimento em sua composição, sendo formada pela mistura de cimento *Portland*, fibras de celulose ou sintéticas e agregados, tendo como características:

- Grande resistência à umidade e material incombustível;
- Elevada resistência a impactos, possibilitando uso em paredes externas;
- Compatibilidade com diversos tipos de acabamentos e revestimentos;
- Facilidade no manuseio (baixo peso) e corte;
- Rapidez de execução, semelhante ao do gesso acartonado.

Figura 24 - Esquema básico de composição de uma placa cimentícia.



Fonte: Construindo Decor (2019).

As placas cimentícias possuem como vantagens impermeabilidade, produto inflamável, resistência a flexão, intempéries, além de imunidade contra micro-organismos, roedores e oxidação. Uma outra vantagem da placa cimentícia é gerar menor sobrecarga nas fundações, por possuir massa e densidade menor do que uma construção de alvenaria tradicional, o que gera esforços perpendiculares menores e, assim, diminui os esforços transferidos para a fundação. As suas aplicações são por exemplo:

- Paredes internas, tanto em áreas secas como em áreas molhadas;
- Paredes externas;
- Fachadas;
- Brises;
- Beirais;
- Shafts;
- Forros;
- Paredes divisórias no steel frame.

No Brasil, as placas são produzidas nas mesmas dimensões das chapas OSB, para simplificar a montagem, além de respeitar o espaçamento entre os perfis da estrutura (400 mm ou 600 mm). Na Tabela *2* são indicadas características das placas cimentícias e possibilidades de aplicação conforme o catálogo de um dos fabricantes.

Tabela 2 - Características técnicas de placas cimentícias da Brasilit

Espessura	Comprimento real	Largura real	Peso por m²	Aplicações
6 mm	2000 mm	1200 mm	10,2 kg	Divisórias leves, forros e dutos de ar-condicionado.
	2400 mm	1200 mm	10,2 kg	
	3000 mm	1200 mm	10,2 kg	
8 mm	2000 mm	1200 mm	13,6 kg	Paredes internas em áreas secas e úmidas, revestimentos de paredes comuns ou em subsolos.
	2400 mm	1200 mm	13,6 kg	
	3000 mm	1200 mm	13,6 kg	
10 mm	2000 mm	1200 mm	17,0 kg	Utilizadas para áreas secas e úmidas, internas e externas. Ideais no fechamento externo em Sistema *Steel* ou *Wood Framing* e isolamentos termo acústico.
	2400 mm	1200 mm	17,0 kg	
	3000 mm	1200 mm	17,0 kg	
12 mm	2400 mm	1200 mm	20,4 kg	Para uso interno na compatibilização com o Drywall ou em fechamentos internos ou externos que necessitem
	3000 mm		20,4 kg	De maior espessura por questões estéticas ou físicas específicas.

Fonte: Brasilit (2017)

2.11 **GESSO ACARTONADO (Drywall).**

O gesso acartonado nada mais é que uma placa de gesso, formada a partir da gipsita, revestida de papel cartão. De acordo com Crasto (2005), no

LSF o gesso acartonado é mais utilizado para fechamento vertical e divisórias internas. Além de auxiliar no conforto térmico, é inerte e incombustível, o que contribui para a resistência ao fogo.

O sistema *Drywall* é comumente confundido com o sistema *Light Steel Framing*, porém é um dos subsistemas do LSF.

Segundo Rego (2012), o tipo de aplicação das placas de *Drywall* são incorporados compostos, para que o produto possa ser instalado em ambientes diferentes, como:

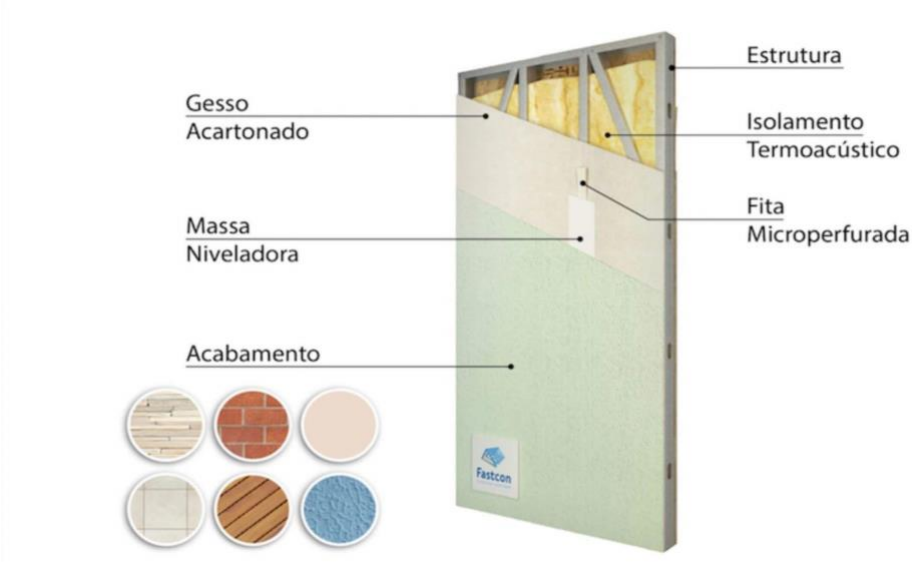
- **Branco gelo (ST):** placas de gesso mais comuns de serem encontradas nas áreas secas, podendo ser utilizadas tanto em paredes como em forros de tetos.
- **Verdes (RU):** Por ter a adição de silicone na sua composição, são resistentes à umidade, não precisando haver impermeabilização. Essas placas são indicadas para áreas molhadas como banheiros, cozinhas e áreas de serviço e varanda. Em locais onde há instalações hidros sanitárias, pluviais, elétricas, deve-se utilizar um reforço em madeira tratada para fixação, para posteriormente parafusar as placas. Além disso, o revestimento das placas deve fazer uma dobra de até 1 cm no contra piso, para que não haja infiltração entre o contra piso e o revestimento.
- **Rosas (RF):** Possui adição de fibra de vidro em sua composição, são resistentes ao fogo. Pode ser utilizado em cozinhas e varandas gourmet, próximos de fogões e lareiras, por exemplo.

Figura 25 -Tipos de Drywall.

Fonte: Diviplus Acustic Solutions (2019).

Segundo a NBR 15575:2013, as dimensões comerciais são semelhantes às das chapas OSB e de placas cimentícias, ou seja, múltiplos de 60cm, variando apenas suas espessuras em 12,5 mm, 15,0 mm ou 18,0 mm. Tais especificações tem o intuito de facilitar a montagem e a sobreposições entre uma placa e outra na obra, o que diminui o desperdício e torna a obra mais limpa.

Figura 26 – Esquema básico de composição de uma placa de Drywall.



Fonte: Acartonale (2019).

De acordo com a ABNT NBR 9574:2008 - Execução de impermeabilização e com a ABNT NBR 9575:2010 – Impermeabilização, o procedimento por meio da técnica de impermeabilização deve ter um estudo prévio para definição das áreas.

Atualmente, no mercado há vários produtos e técnicas de impermeabilização como: emulsões asfálticas, cimentos poliméricos, mantas asfálticas, aditivos para argamassa.

Em lugares com recortes de áreas pequenas e molháveis – segundo NBR 15575-3:2013, áreas molhadas são compartimentos da edificação cuja condição de uso e exposição pode resultar na formação de lâmina d’água pelo uso normal a que o ambiente se destina – como pisos de áreas molhadas ou box de banheiros, são utilizados impermeabilizantes a base de cimento polimérico e aditivos de consistência líquida, além de uma tela de poliéster

para criar camadas e ter uma proteção maior no local. Já locais de grandes dimensões ou mais suscetíveis a fissurações – como estacionamentos e barriletes – costumam ser tratados com mantas asfálticas, porém em ambos devem-se ser feitos testes de estanqueidade.

2.12 MÉTODOS CONSTRUTIVOS

Segundo Landolfo, Di Lorenzo e Fiorino (2002), a construção de *Light Steel Framing* pode ser classificada em três categorias, descritas abaixo.

a) Método *Stich*

O método *Stich* consiste no corte dos perfis e montagem dos elementos no canteiro de obra (Figura 27). É mais utilizado em locais onde a pré-fabricação não é viável, podendo haver perfis já perfurados para instalações de outros subsistemas.

Figura 27 - Construção pelo método Stich

Fonte: Steel House (2017).

b) Método por painéis ou engenheirado

O método baseia-se na pré-fabricação de painéis ou elementos estruturais e não estruturais fora do canteiro de obra, padronizado de acordo com o projeto, incluindo os cortes dos locais onde serão parafusadas uma peça na outra. Assim, na obra, não é necessário nenhum serviço além de parafusar as peças pré-determinadas (Figura 28).

Figura 28 - Pré-fabricação de painéis e montagem no local (método por painéis)

Fonte: Madepal (2018).

c) Método de construção modular

Esse método é inteiramente executado por meio da pré-fabricação (Figura 29), isto é, a casa vai pronta para a obra. Na obra é apenas definido o posicionamento dos módulos conforme projeto arquitetônico.

Figura 29 - Unidade modular em fábrica.

Fonte: Brasil ao Cubo (2018).

Portanto, o que diferencia cada um dos métodos de construção em LSF são as etapas que serão feitas na obra.

2.13 **CONTRAVENTAMENTO**

A ação do vento em estruturas metálicas é uma das ações mais importantes dentro do projeto estrutural, por serem estruturas leves. Todos os cálculos devem seguir a NBR 6123:1988 - Forças devidas ao vento em edificações. O dimensionamento dessas ações, segundo a mesma NBR, levam em conta os seguintes quesitos:

- Dados geométricos da estrutura e dimensões dos vãos;
- Velocidade do vento na região, de acordo com as isopletas;
- Fator Topográfico (S1);
- Fator de Rugosidade (S2);
- Fator Estático, ou seja, qual o tipo da edificação (S3);
- Coeficiente de pressão externa de 0° e de 90°;
- Coeficiente de pressão interna de 0° e de 90°;
- Combinações dos coeficientes de pressão internos e externos críticos para a obtenção de coeficiente médio de pressão;
- Velocidade característica do vento;
- Pressão dinâmica;
- Esforços resultantes.

Após o dimensionamento da estrutura, é necessário elaborar um contraventamento para o sistema que está sendo dimensionado, isto é, um sistema de proteção contra a ação do vento na edificação. Para o sistema resistir aos esforços é necessário aumentar a rigidez da estrutura a ser construída.

Em geral, não são considerados a ação do vento e o contraventamento em edificações com índice de esbeltes compacto, ou seja, residências com altura baixa. Porém, em estruturas metálicas como o LSF este aspecto é de grande necessidade, por serem construções consideradas leve.

Segundo a Futur eng 2019, o contraventamento neste caso pode ser realizado por meio de barras esbeltas de travamento em X, assim, faz-se com

que o sistema trabalhe sob tração ao invés de flexão, e sua rigidez cresce consideravelmente.

Outro método ainda citado é a cintagem cruzada, composto por elementos estruturais dispostos a formar uma espécie de cinta de contensão em formato de cruz, formada por duas diagonais para contender os esforços causados na região interna das paredes.

Segundo o estudo de Zacarias Chamberlain (2016), as principais causas dos acidentes devido ao vento são:

- “Falta de ancoragem de terças;
- Contraventamento insuficiente de estruturas de cobertura;
- Fundações inadequadas;
- Paredes inadequadas;
- Deformabilidade excessiva da edificação. Muitos casos não são considerados dentro da NBR 6123:1988, porém quando a edificação, seja por suas dimensões e ou forma, provoque perturbações importantes no escoamento ou por obstáculos na sua vizinhança, deve-se recorrer a ensaios em túnel de vento, onde possam ser simuladas as características do vento natural. É importante definir alguns dos aspectos que regem as forças associadas ao vento, antes de realizar o cálculo.
- O vento é produzido por diferenças de temperatura de massas de ar na atmosfera. O caso mais fácil de identificar é quando uma frente fria chega na área e choca-se com o ar quente produzindo vento. Esse tipo de fenômeno pode ser observado antes do início de uma chuva. Define-se o termo barlavento como sendo a região de onde sopra o vento (em relação a edificação); e sotavento a região oposta àquela de onde sopra o vento. Quando o vento sopra sobre uma superfície existe uma sobre pressão (sinal positivo), porém em alguns casos pode acontecer o contrário, ou seja, existir sucção (sinal negativo) sobre a superfície. O vento sempre atua perpendicularmente à superfície que obstrui sua passagem pela edificação.

Figura 30 - Contraventamento em X do 1° PAV da TV Tower Parque Olímpico - Olimpíadas Rio 2016

Fonte: Steel Frame Engenharia (2016).

2.14 DESEMPENHO TERMO ACÚSTICO

2.14.1 Desempenho acústico

A norma ABNT NBR 15575:2013 estabelece critérios para a acústica e para o isolamento ou diminuição da propagação do som aéreo atrás dos pisos, espessura das paredes e cobertura da edificação. Para avaliação acústica dos sistemas construtivos a norma prevê a realização de ensaios de laboratório, por meio das quais é medida a acústica do ambiente que está sendo avaliado.

Segundo Lima (2013), a norma ISO 10052:2004 e ISO 140-7;1998 estabelecem um método para medir o impacto dos ruídos entre pisos e aéreo, além de se obter uma estimativa do isolamento sonoro global da vedação externa e interna.

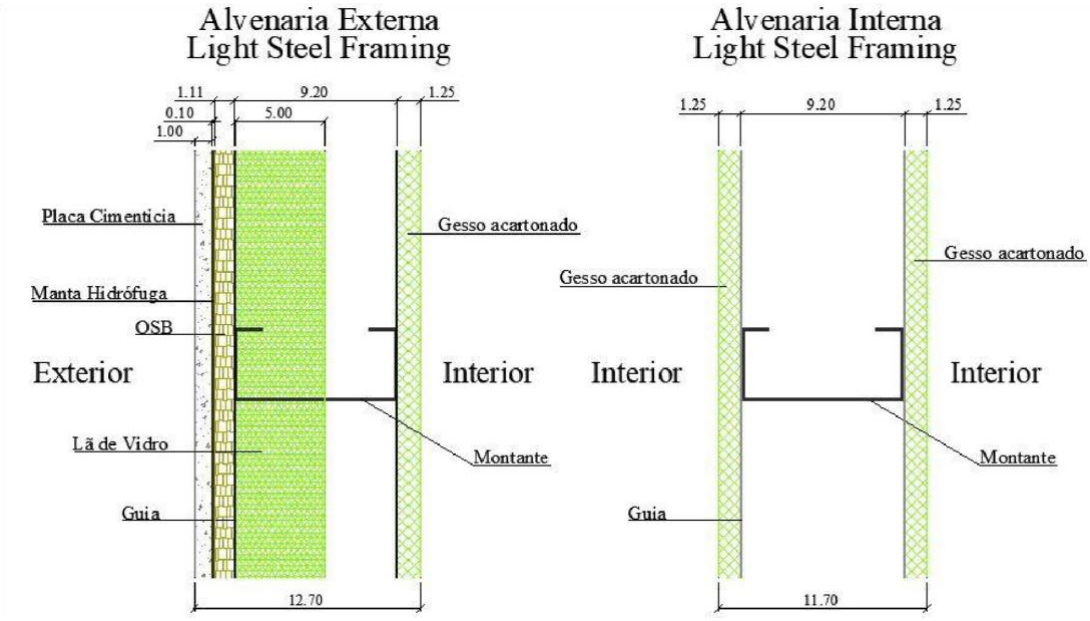
Conforme mencionado por Silva (2014), os itens que são primordiais para uma boa análise são:

- Condutividade (W/m.K): é a quantidade de calor transferida por unidade de tempo e por unidade de área em uma placa uniforme de comprimento infinito e espessura unitária, quando uma diferença unitária de temperatura é estabelecida entre duas faces paralelas.

- Densidade (kg/m³): também conhecida como peso específico, é a relação da massa de um volume unitário de uma substância e a massa de um mesmo volume de água a uma dada temperatura, normalmente 20º ou 23ºC.

- Calor Específico (J/kg.K): Quantidade de calor necessária para promover o aumento de temperatura de uma massa unitária de material de um grau (em uma faixa específica de temperaturas).

Figura 31 - Detalhe das alvenarias externa e interna, respectivamente, em *Light Steel Framing* (dimensões em cm).



Fonte: Silva (2014).

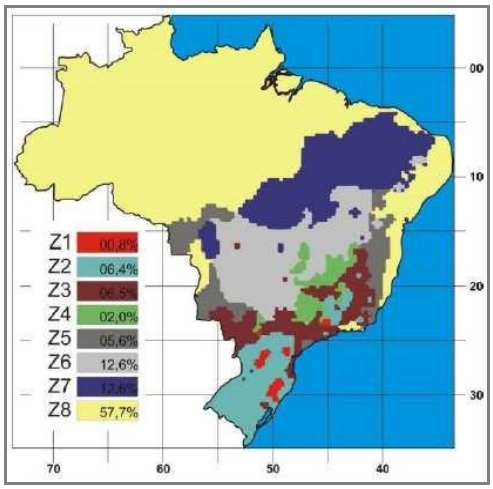
2.14.2 Desempenho Térmico

Conforme a diretriz SINAT 003/2010, toda edificação deve atender aos requisitos de desempenho de conforto térmico exigidos pela norma ABNT NBR 15575:2013.

Esta Norma permite que seja feita uma análise do ambiente e avaliação das características do sistema construtivo utilizado para melhor performance, respeitando as diferenças climáticas brasileiras definidas na

ABNT NBR 15220:2005 (vide Figura 32). Porém, conforme o Manual da Construção Industrializada de 2015, a condutividade térmica deve idealmente ser menor que 0,06 W/m°C (condutividade térmica máxima de um material considerado isolante) e resistência térmica ≥ 0,5m2 K/W.

Figura 32 - Zonas Bioclimáticas Brasileiras.



Fonte: NBR 15220-3:2005

Segundo Lima (2013), os critérios de desempenho térmico devem ser avaliados, primeiramente, conforme o procedimento determinado pela norma e, caso não atenda, deve ser feita uma análise dos materiais e características da edificação. Lima (2013) ainda cita que o procedimento de avaliação térmica tem como critérios a transmitância térmica (U) e capacidade térmica (CT) das paredes de fachada e das coberturas.

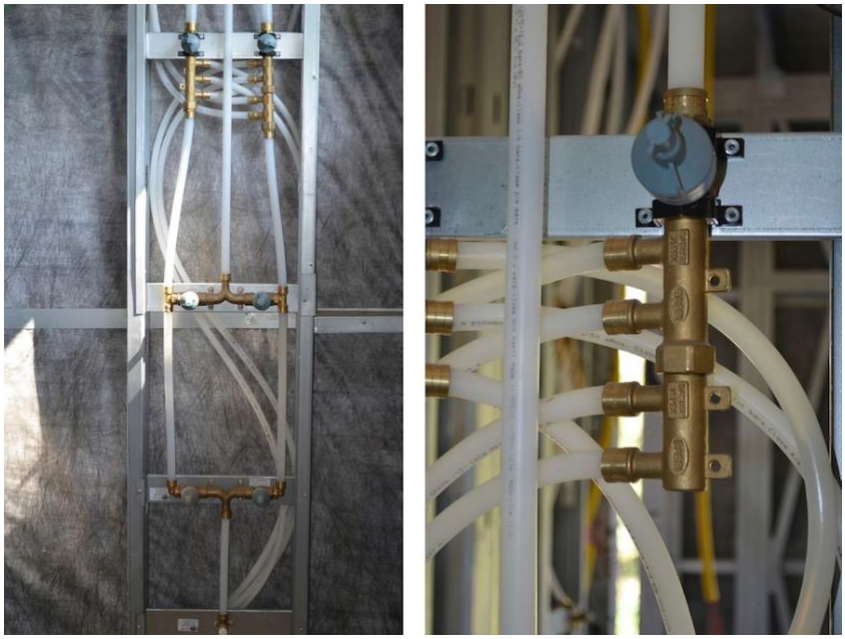
2.15 **INSTALAÇÕES HIDRAÚLICAS E ELÉTRICAS**

Os sistemas elétrico e hidráulico em geral são os mesmos utilizados em uma construção convencional. Mas, com o crescimento de métodos de construção a seco, o mercado já disponibiliza materiais elétricos e hidráulicos desenvolvidos especialmente para *drywall* e *framing*, como caixas para ligar os fios dos eletrodutos até a tomada ou o interruptor, fixadas diretamente nas chapas de fechamento. As tubulações e eletrodutos são instalados no interior das paredes, com todos os vãos nos perfis previamente furados, respeitando as condições de dimensionamento das bodas e da espessura do montante.

A parte hidráulica conta previamente com as instalações sanitárias executadas antes da concretagem, neste caso do Radier, para que não seja preciso quebrar a laje depois de concretada, evitando, assim, danos. Após isso são feitos os fechamentos das paredes e de shaft's com o intuito de esconder as tulaçõs que poderiam ficar aparente.

Um sistema muito utilizado, mas que está caindo em desuso, é a mangueira PEX (mangueira de polietileno com reticulado). Este sistema pode ser utilizado para a passagem de água fria, de água quente e de gás, mas nunca para a passagem de esgoto. Porém, apesar do bom desempenho, é primordial a realização de teste de estanqueidade das tubulações.

Figura 33 - Quadros de distribuição das instalações hidráulicas de uma obra em *steel frame*



Fonte: GOUVEA, L (2015)

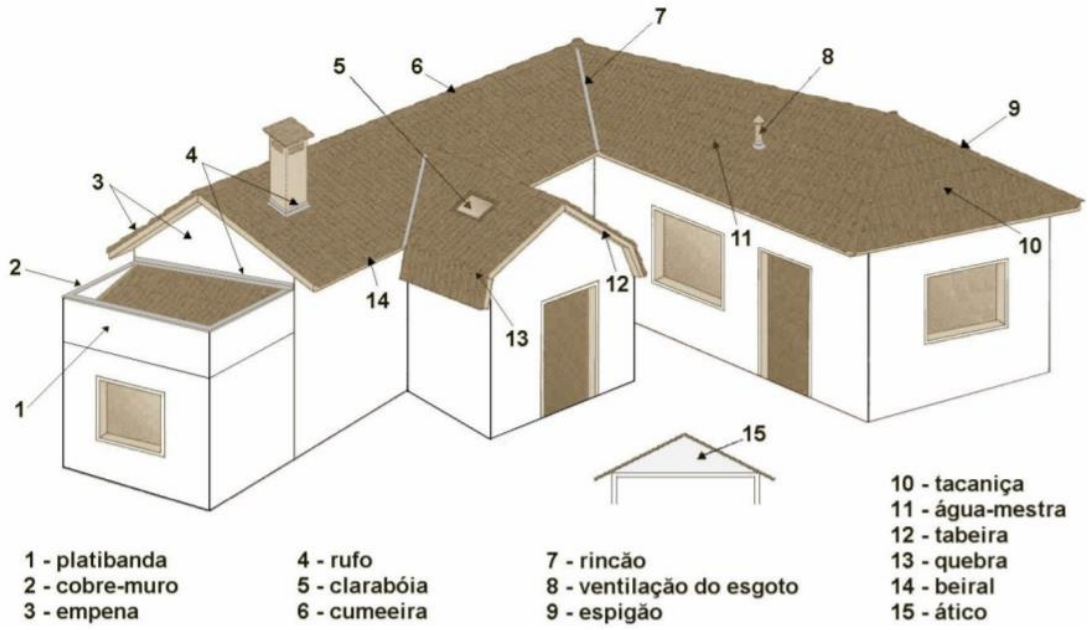
2.16 **TELHADOS**

As coberturas ou telhados é a parte destinada a proteger a estrutura da ação das intempéries e por ações acidentais especiais, além da função estética. Os telhados podem ser de diferentes tipos e com características diferentes como, por exemplo, coberturas planas ou planos inclinados.

Segundo Cardão (1964), os telhados inclinados também possuem a finalidade de regulador térmico, uma vez que a camada de ar que passa entre a cobertura e o forro permite a troca do ar quente e do ar frio, o que o torna um excelente isolante térmico. Por ser um regulador térmico e amenizar as temperaturas altas, esse tipo de telhado é amplamente utilizado no Brasil - país de clima tropical - apesar de não haver variações térmicas drásticas.

A construção de um telhado é a mesma para qualquer método construtivo, com variação apenas dos materiais utilizados.

Figura 34 - Designações dos elementos da cobertura de um telhado.



Fonte: ABNT 8800 (2008, p.96)

Segundo Moliterno (2003), o princípio estrutural desse tipo de telhado é constituído de duas partes principais:

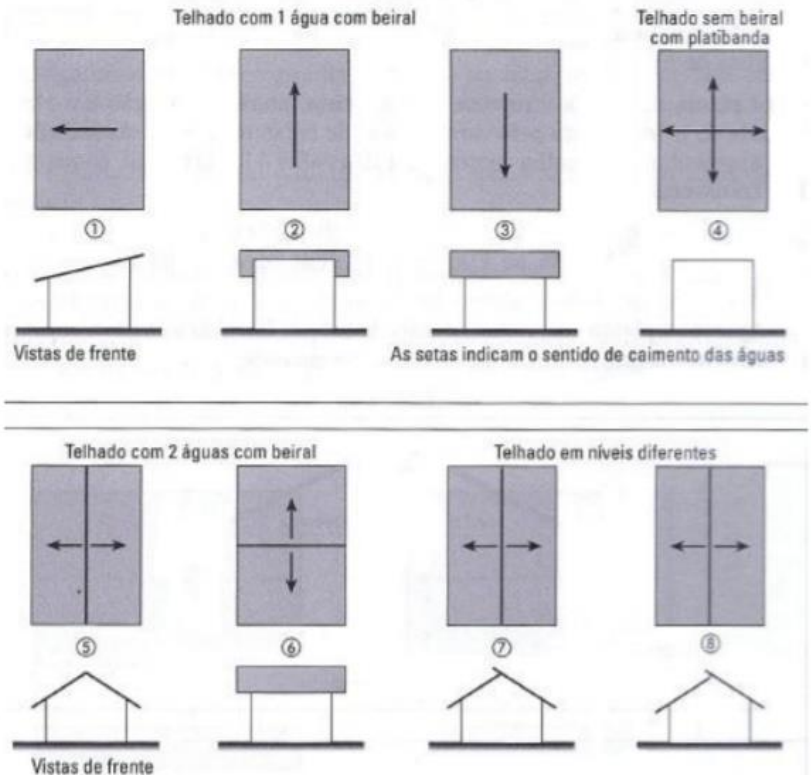
1. Cobertura: pode ser de materiais diversos desde que impermeáveis às águas pluviais e resistentes à ação do vento e intempéries.

2. Armação: corresponde ao conjunto de elementos estruturais para sustentação da cobertura, tais como: ripas, caibros, terças, tesouras e contraventamento.

De acordo com a NBR 8800, a estrutura de um telhado deve ser calculada para suportar o próprio peso dos seus elementos e suportar carregamentos como: de revestimentos; forros; carga de vento; contraventamento; acidental que tem a função de simular o peso de uma pessoas para manutenção da estrutura, para que essas cargas sejam projetadas para descarregaram diretamente até a fundação.

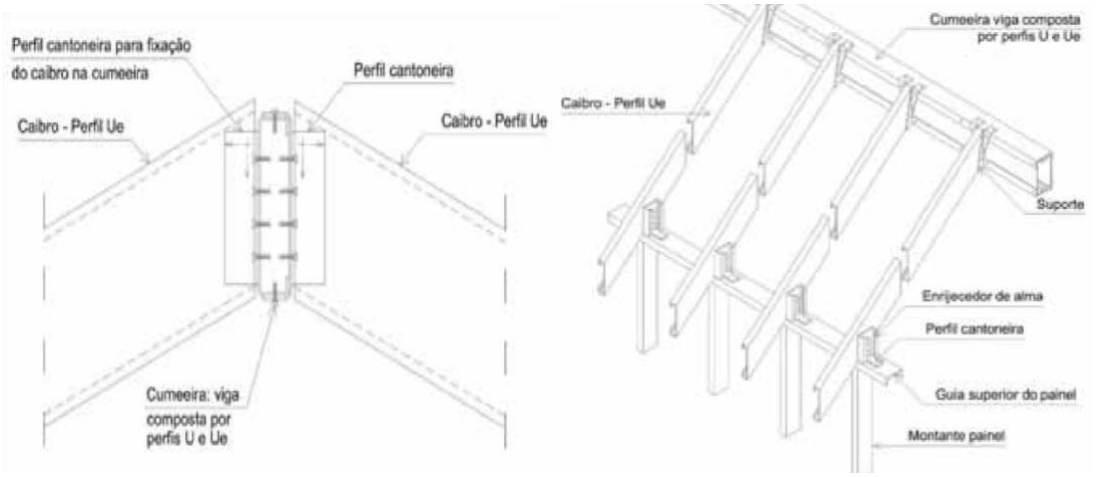
Há vários tipos de telhados, como: telhados treliçados, caibros, tesouras, 1 água ou mais águas – água significa superfície inclinada, usada como cobertura de uma edificação, que vai do espigão horizontal (cumeeira) ao beiral, para haver o escoamento da água – platibanda, entre outros.

Figura 35 - Formas de telhado em vista e em planta.



Fonte: Borges (2009, p.169)

Figura 36 - Telhado estruturado com caibros.

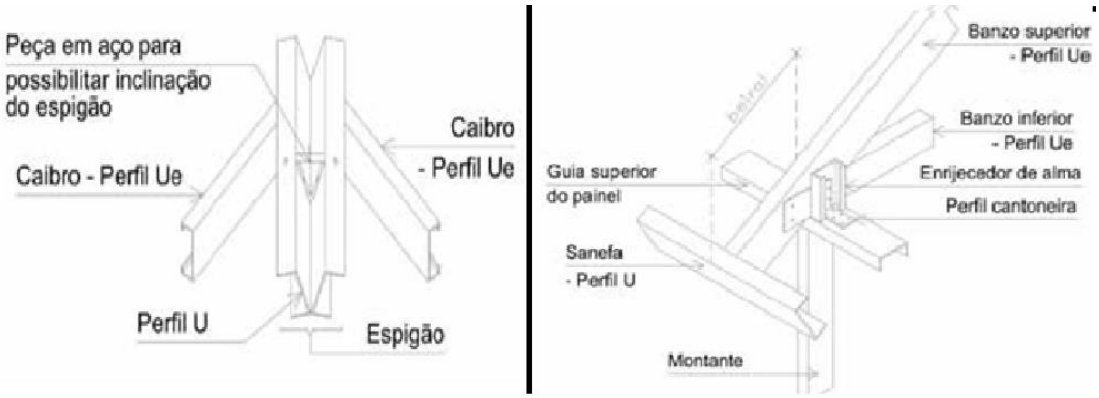


Fonte: Waite (2000)

A montagem da cobertura ocorre após a fixação dos painéis das paredes com parafusos autobrocantes pré-estabelecidos, indicados no projeto estrutural. A cobertura também deve ser finaliza antes do fechamento externo para que possa ter um melhor acabamento.

Para esse tipo de sistema são utilizados perfis tipo “cartola”, “U” e “U enrijecido”. As telhas são do tipo tradicional ou de telhas do tipo sanduíche, que são diretamente fixadas na estrutura principal do telhado, como caibros, cumeeiras e tesouras.

Figura 37 - Detalhamento de beiral do telhado e da junção banzo superior e inferior de uma tesoura



Fonte: Waite (2000)

2.17 **LIGAÇÃO**

No LSF as ligações são feitas entre um elemento e outro com parafusos autobrocantes, auto perfurantes ou auto atarraxantes, feitos de aço e revestidos por uma proteção eletrolítica de zinco. Os parafusos são também classificados em duas categorias, parafuso comum e de alta resistência:

- Parafuso comum ou ASTM A307: são utilizados em estruturas leves e em ligações de elementos secundários ou temporários.
- Parafuso de alta resistência ou ASTM A325/A490: são utilizados nas ligações principais e devem ser apertados conforme especificação com equipamento específico, o torquímetro – equipamento que mede o torque ou força de giro em um corpo.

As ligações devem ser dimensionadas de modo que resistam aos cálculos de esforços solicitantes ou pelas porcentagens especificadas de resistência de cálculo das barras adotadas, além de satisfazer aos requisitos básicos apresentados na NBR 8800: 2008.

Segundo o “manual de ligações em estruturas metálicas volume 1”, de 2011, também devem ser atendidos os seguintes requisitos da NBR 8800:2008:

> “- Permitir a execução de maneira adequada e em boas condições de segurança da fabricação, do transporte, do manuseio e da montagem da estrutura;
> - Com exceção de diagonais e montantes de travejamento de barras compostas, barras redondas para tirantes, terças e longarinas, as ligações devem ser dimensionadas para uma força solicitante mínima de 45 kN, com direção e sentido da força atuante;
> - Ligações de barras tracionadas ou comprimidas devem ser dimensionadas no mínimo para 50% da força axial resistente de cálculo da barra. Esta última condição estabelece uma compatibilidade entre a resistência da barra e a da ligação, ou seja, independentemente do valor da solicitação, a ligação deve pelo menos apresentar uma resistência de cálculo igual à metade da resistência de cálculo da barra. Em algumas situações específicas, o dimensionamento também pode ter como base um estado-limite de serviço (ABNT, 2008a).”

Os furos já são pré-estabelecidos pelo projeto estrutural, que deve respeitar as condições da NBR 15253:2003. Alguns parâmetros considerados para o dimensionamento são:

- Distância externa dos fios de rosca;
- Distância entre a cabeça do parafuso e sua ponta;
- Distância que separa os fios de rosca;
- Distância entre um parafuso e outro;
- Distância entre o parafuso e as bordas.

Alguns elementos de ligação permitem facilitar a transmissão dos esforços, como: enrijecedores, chapas de ligação, placas de base, cantoneiras, consolos, telas de emenda, entre outros.

Ainda segundo o “manual de ligações em estruturas metálicas volume 1” e a NBR 8800:2008, deve ser feito um controle do aperto dos parafusos, mediante quatro processos:

- Aperto pelo método da rotação da porca;
- Colocados parafusos nos furos;
- Condição de pré-torque;
- Aperto adicional por meio da rotação aplicável da porca.

Figura 38 - Recomendadas de parafusos em função da aplicação.

<table>
<tr><th>Materiais</th><th>Aplicação</th><th>Diâmetro mínimo</th><th>Tipo de ponta</th><th>Tipo de cabeça</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Aço</td><td>Guia – montante;
montante – fita metálica;</td><td rowspan="2">Estrutural: #8
Não Estrutural: #6</td><td rowspan="2">Agulha
ou
Broca[1]</td><td>Plana</td></tr>
<tr><td>Montante – montante;
cantoneira – montante;
cantoneira – verga;
verga – montante;
travamento da viga;</td><td>Hex</td></tr>
<tr><td>Gesso</td><td>Fechamento vertical ou horizontal</td><td>#6</td><td>Agulha
ou
Broca[1]</td><td>Plana ou Oval</td></tr>
<tr><td>OSB</td><td>Fechamento vertical ou horizontal</td><td>#8</td><td>Agulha
ou
Broca[1]</td><td>Plana ou Oval</td></tr>
<tr><td colspan="5">[1]Dependendo da espessura do perfil ao qual vai ser fixado</td></tr>
</table>

Fonte: Rodrigues (2006)

Em relação aos aspectos mencionados, vale destacar a importância das ligações em uma estrutura, pois, se mal dimensionadas, podem causar rachaduras, entortar o perfil, entre outras consequências que podem provocar o colapso da estrutura.

2.18 HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL POPUPULAR FEDERAL MINHA CASA MINHA VIDA

As habitações de interesse social são o tipo de construção destinada a servir de moradia para a população de baixa renda, que possuem até três salários mínimos. Segundo Carvalho (2012), a habitação de interesse social tem como característica a padronização arquitetônica das residências, com o intuito de tornar viável reproduzi-las por todo o país.

O déficit habitacional nacional é um parâmetro adotado como base e controle para a política habitacional social. A partir desse dado é possível analisar as necessidades da população e indicar melhorias que podem ser adotadas para proporcionar melhor conforto e qualidade para o cliente, com preço acessível.

O Programa “Minha Casa Minha Vida” (PMCMV) foi instituído em 2009, pela Lei 11.977. Segundo o artigo 2° da Lei 11.977/2009:

> O PMCMV tem como finalidade criar mecanismos de incentivo à produção e à aquisição de novas unidades habitacionais pelas famílias com renda mensal de até 10 (dez) salários mínimos, que residam em qualquer dos Municípios brasileiros.

Segundo dados da Fundação Getúlio Vargas (FGV) mostrados na reportagem do jornal Rede Brasil Atual (2019), o Brasil bateu recorde de déficit habitacional comparado aos últimos anos: cerca de 7% entre 2007 e 2017 e atualmente 7,78 milhões de moradias.

A crise a partir de 2014 gerou consequências como a redução do crédito para financiamento e alto índice de desemprego, diminuindo, assim, os recursos para a construção de habitações do Programa Minha Casa Minha vida do Governo Federal, além de impactar principalmente a população da faixa 1, que atende famílias de baixa renda.

Com a queda de investimentos surgiu a necessidade de se produzir mais, em menos tempo, diminuindo assim o custo das obras. Com isso, houve estímulo a construções industrializadas. Neste cenário, o *Light Steel Framing* vem ganhando espaço no mercado, por ser um método construtivo barato, fácil de transportar, montar e capaz de gerar edificações com maior produtividade, além de satisfazer as condições mínimas de desempenho.

Segundo o SOUZA (2014), para residências de *Light Steel Frame,* ao contratar uma obra, o contratante deve prestar atenção principalmente aos seguintes aspectos.

- Contrato detalhado com o escopo da obra, responsabilidades da montadora, especificações e critérios de desempenho esperados da edificação, cronograma de obras com prazos de execução de cada etapa, relação de normas técnicas e outros regulamentos a serem observados;
- A empresa montadora deverá manter um programa de garantia da qualidade para assegurar que seu trabalho esteja de acordo com as especificações das normas aplicáveis e com os Documentos Contratuais;
- A Montadora deverá possuir qualificação e capacidade de executar a montagem das estruturas LSF, devendo fornecer equipamento, pessoal e supervisão proporcionais ao escopo, magnitude e qualidade exigíveis para cada obra;
- Os produtos e materiais utilizados devem satisfazer aos requisitos estabelecidos no contrato;
- Deve ser exigido da montadora um projeto detalhado; e a memória de cálculo estrutural deve ser realizada por profissional habilitado. No caso de estruturas maiores e mais complexas, deve-se exigir também um plano detalhado de montagem;
- A elaboração do projeto executivo deve estar atrelada à compatibilização do projeto estrutural com o arquitetônico. Posteriormente, deve-se compatibilizar esses projetos com o de instalações, identificando, analisando e solucionando as interferências;

- Elaborar projetos de vedações internas e externas atendendo ao projeto estrutural, uma vez que é na estrutura que os componentes são fixados, compatibilizando-os e integrando-os com os outros subsistemas. A paginação dos componentes de fechamento deve otimizar a modulação vertical e horizontal;
- Especificar e detalhar o tipo de juntas de união (aparente ou invisível) de dessolidarização e movimentação das placas de 143 Manual da Construção Industrializada fechamento, incorporando sempre que necessário esses detalhes ao projeto de arquitetura;
- Identificar e solucionar interferências de pontos hidráulicos de pias, vasos sanitários, chuveiros, tanques e outros, com a posição dos elementos estruturais, principalmente, contraventamento e montantes;
- Especificar e detalhar o tipo de impermeabilização e revestimento de áreas molháveis e molhadas e o uso de materiais como piso box e outros;
- Detalhar a interface painéis/esquadrias, caracterizando o tipo de material (alumínio, madeira, aço, PVC etc.), o modo de fixação, componentes de proteção dessas aberturas tais como peitoris, pingadeiras e alisares. Cuidados especiais devem ser tomados quando as Diretrizes de Projeto usam materiais metálicos como o alumínio, para isolar as esquadrias da estrutura, evitando dessa forma os pares galvânicos;
- Dar preferência aos detalhes padronizados que têm desempenho comprovado. Isso deve ser aplicado tanto ao detalhamento do projeto arquitetônico quanto ao projeto estrutural;
- Definir projeto elétrico e luminotécnico para evitar interferência com a estrutura, como vigas de piso e montantes.

2.19 VANTAGENS E DESVANTAGENS

O *Light Steel Framing* é considerado uma construção a seco, na qual dispensa a utilização de água como ligante ou para compor algum material estrutural, como por exemplo o concreto. Isso influencia na simplificação das etapas de execução, diminuição de desperdícios e problemas na obra, sendo menos agressivo ao meio ambiente. Além disso, oferece alta qualidade, rigidez, versatilidade e durabilidade ao imóvel em questão.

Os sistemas em *Light Steel Framing*, quando aplicados em edificações, apresentam, segundo Crasto (2005) e Rego (2012), benefícios como:

- Maior durabilidade da estrutura, devido ao revestimento de galvanização das peças fabricadas;
- Elementos estruturais leves, facilitando a montagem, manuseio e transporte;
- Alta resistência e controle de qualidade da estrutura;
- Facilidade na execução de ligações parafusadas de perfis ainda sob controle do fabricante;
- Construção mais rápida, diminuindo o prazo de execução da obra, consequentemente, obtendo redução do custo;
- Emprego de materiais totalmente recicláveis (aço) e incombustíveis (lã de rocha e gesso);
- Elevado desempenho termoacústico em comparação com métodos de fechamento tradicionais;
- Facilidade na produção dos perfis formados a frio (PFF), amplamente produzidos pelo setor industrial.

Os sistemas em *Light Steel Framing*, quando aplicados em edificações apresentam, desvantagens como:

- Resistência cultural em relação ao tipo de estrutura e construção;
- Dificuldades de encontrar alguns tipos de perfis na maioria das cidades brasileiras, tendo que comprar de outra cidade, o que pode encarecer o custo final do produto;

- Escassez de mão de obra especializada, desde engenheiros, projetistas, ferreiros e montadores;
- Monopólio de construtoras especializadas, devido à baixa concorrência.

3. **MATERIAIS E MÉTODOS**

Para o desenvolvimento deste trabalho foi realizado inicialmente uma extensa pesquisa bibliográfica para aprofundar os conhecimentos teóricos em sistemas construtivos de aço e suas particularidades. Em seguida foi realizada uma pesquisa literária para compreender as características construtivas de sistemas em LSF e métodos de projeto, assim como seu estado da arte.

Para atingir os objetivos propostos neste trabalho, foi elaborado embasamento teórico, fundamentado em pesquisas, conhecimentos prévios e na revisão bibliográfica, criando uma espécie de cartilha sobre o LSF.

Com base nessas informações foram descritas as etapas do projeto, atendendo aos requisitos de segurança, qualidade e produção, segundo as normas vigentes e a cartilha do programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV). Nesta cartilha foi estabelecido que as residências de steel framing devem atender aos requisitos mínimos empregados deste documento para a obtenção do programa de financiamento.

A partir disso, foi elaborado um planejamento para a realização desse trabalho, dividido nas seguintes etapas:

i. Levantamento de pesquisas e estudos sobre a análise estrutural e arquitetônica, incluindo seus subsistemas não estruturais;
ii. Apresentar uma abordagem geral sobre o método construtivo industrializado “*Light Steel Framing*”;
iii. Detalhar os processos de execução de uma residência unifamiliar de interesse social, incluindo normas e técnicas a ser seguidas para obter um ótimo desempenho, com o intuito de servir como um manual;
iv. Conclusão e considerações finais.

4. **CONCLUSÃO**

Segundo o estudo, analisamos quais são os melhores tipos de materiais para cada processo da construção em LSF, se baseando nos seguintes fatores: concepção estrutural, arquitetônico, custo-benefício e desempenho acústico. Alguns deles são:

- Método de perfis engenheirado;
- Fundação – Radie;
- Lajes – Concreto armado;
- Esqueleto das paredes – Perfis em U enrijecido;
- Paredes de fechamento internos – Drywall;
- Paredes de fechamento externo – Placas de OSB com placas cimentícias;
- Telhas de cobertura – estilo sanduiche;
- Ligação das estruturas – Parafusos auto brocantes de alta resistência;

Em vista disso é primordial para que esse método constritivo ser cada vez mais acessível é que deveria haver mais incentivo federal e privado para popularizar esse tipo de construção, principalmente quando se trata de produção de condomínios de casas populares. Esse tipo de iniciativa reduziria o déficit habitacional brasileiro e a produção de entulhos que podem ser despejados de formas inadequadas, causando impactos ambientais.

Outro fator vantajoso do sistema *Light Steel Frame* é o custo final de uma construção. Quando analisados os custos dos materiais e prestadores de serviços de uma residência em LSF, não é possível observar diferença de custo grande em relação aos outros métodos construtivos. Porém considerando produção em larga escalas, a diferença de custos passa a ser significativa.

Tendo em vista os aspectos observados, sobre a concepção arquitetônica e estrutural do LSF e os aspectos analisados do sistema, conclui-se que o método construtivo industrializado “Light Steel Framing” é um método viável

economicamente, rápido e de bom desempenho em relação à qualidade do produto final, além disso permite um leque diverso de opções arquitetônicas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120:1980**. Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, nov. 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123:1988**. Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 10 jun. 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-1:2005**. Desempenho térmico de edificações - Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro: ABNT, 29 abr. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3:2005**. Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 29 abr. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15492:2007**. Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 18 jun. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800:2008**. Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro: ABNT, 25 set. 2008. 2008a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9574:2008**. Execução de impermeabilização. Rio de Janeiro: ABNT, 01 jan. 2008. 2008b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14762:2010.** Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro: ABNT, 09 jul. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9575:2010.** Impermeabilização - Seleção e projeto. Rio de Janeiro: ABNT, 17 set. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6355:2012**. Perfis estruturais de aço formados a frio – Padronização. Rio de Janeiro: ABNT, 30 dez. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7008:2012**. Chapas e bobinas de aço revestidas com zinco ou com liga zinco-ferro pelo processo contínuo de imersão a quente. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-2:2013**. Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais. Rio de Janeiro: ABNT, 19 jul. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-3:2013**. Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais. Rio de Janeiro: ABNT, 19 jul. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118:2014**. Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 29 abr. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15253:2014**. Perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico, para painéis reticulados em edificações: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 13 dez. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122:2019**. Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro: ABNT, 30 set. 2019.

ACARTONALE CONSTRUÇÕES À SECO. **Serviços em drywall**. Disponível em: http://acartonale.com.br/serviço-drywall. Acesso em: 28 set. 2019.

BRASILIT. **Centro de treinamento de construção industrializada**. Disponível em:https://docplayer.com.br/3897909-Centro-de-treinamento-brasilit-construcao-industrializada.html. Acesso em: 28 set. 2019.

BARROS, Victor Vieira Belafonte. **Conclusão de curso estruturas em light steel framing:** projeto e dimensionamento em softwares 3D. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais, 2017. Disponível em: http://200.19.146.153/handle/123456789/19918. Acesso em: 18 nov. 2019

BONAFÉ, G. Estruturas metálicas reduzem o tempo de construção em até 40%. **CBCA**. 06 nov. 2014. Disponível em: https://www.cbca-acobrasil.org.br/site/noticias-detalhes.php?cod=6421. Acesso em: 28 set. 2019.

BRASIL. Lei 11.977, de julho de 2009. Dispõe sobre o Programa Minha Casa, Minha Vida – PMCMV e a regularização fundiária de assentamentos localizados em áreas urbanas; altera o Decreto-Lei no 3.365, de 21 de junho de 1941, as Leis nos 4.380, de 21 de agosto de 1964, 6.015, de 31 de dezembro de 1973, 8.036, de 11 de maio de 1990, e 10.257, de 10 de julho de 2001, e a Medida Provisória no 2.197-43, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília: Congresso Nacional, [2009]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2009/Lei/L11977.htm.

CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO. **Estruturas metálicas reduzem o tempo de construção em até 40%. BONAFÉ, CBCA**. 06 nov. 2014. Disponível em: https://www.cbca-acobrasil.org.br/site/noticias-detalhes.php?cod=6421&bsc=&orig=noticias. Acesso em: 28 set. 2019.

CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO. SINAPI coloca em consulta pública as composições de estruturas metálicas. **CBCA**. 19 abr. 2018.

Disponível em: http://www.cbca-acobrasil.org.br/noticias-detalhes.php?cod=7503. Acesso em: 28 set. 2019.

CHODRAUI, Gustavo Monteiro de Barros. **Análise teórica e experimental de perfis de aço formados a frio submetidos à compressão**. 2006. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo. 2006. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-31082006-152727/pt-br.php. Acesso em: 18 nov. 2019

CHAMBERLAIN, ZACARIAS**. Notas de aula: Ações do vento em edificações**. 2016.Fundação Universidade de Passo Fundo Disponível em: http://usuarios.upf.br/~zacarias/acoes_vento.pdf. Acesso: 28 set.2019.

CRASTO, Renata Cristina Moraes de. **Arquitetura e tecnologia em sistemas construtivos industrializados**: light steel framing. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais, 2005. Disponível em: https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/6246. Acesso em: 18 nov. 2019

CARVALHO, PRM; GRIGOLETTI, Gladimir; BARBOSA, Giovana Daltrozo. **Curso Básico de Perfis de Aço Formados a Frio**. Porto Alegre, 2004.

CARDÃO, Celso. **Técnica da Construção Vol. 2**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 1964. 498p

DINO. Vantagens e desvantagens devem ser levadas em conta antes de se investir em casas de Steel Frame. **Revista EXAME**. 26 jun. 2018. Disponível em: https://exame.abril.com.br/negocios/dino/vantagens-e-desvantagens-devem-ser-levadas-em-conta-antes-de-se-investir-em-casas-de-steel-frame/. Acesso em: 28 set. 2019.

Diretriz SINAT nº 003 - **Revisão 02 - Diretriz para Avaliação Técnica de Sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço zincado conformados a frio, com fechamentos em chapas delgadas** (Sistemas leves tipo "Light Steel Framing"). Acesso em 28 de nov. 2019.

DIVIPLUS ACUSTIC SOLUTIONS. **Função de cada cor de drywall**. 2019.Disponível em: http://diviplus.com.br/cores-drywall/.Acesso em: 28 set. 2019.

FRUCHTENGARTEN, Julio. **Apostila de projeto de estruturas de aço compostas por perfis de seção aberta e parede delgada**. 2014. (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil), Escola Politécnica da USP São Paulo, 2014.

FUTUR ENG. **Contraventamento**. 2019. Disponível em: http://www.futureng.pt/contraventamento. Acesso em: 28 set. 2019.

GOUVEA, L. Tudo que ainda não te contaram sobre o Steel Frame: descubra a Verdade aqui. **FASTCON**. 31 out. 2015. Disponível em: http://fastcon.com.br/blog/steel-frame/. Acesso em: 28 set. 2019.

GONZALES.L.A. **VERIFICAÇÃO DE PERFIS U FORMADOS A FRIO POR COMPUTADOR**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016.

JUNIOR.S.S.P. **Notas de aula: Estruturas Metálicas**,2019. Acesso em 28 de nov. 2019.

KIMURA, E, F, A. **Comportamento estrutural de perfis formados à frio com seção transversal composta de u enrijecido em temperaturas elevadas**. 2014. (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo. 2014.

LANDOLFO, R.; DI LORENZO, G.; FIORINO, L. Attualità e prospettive dei sistemi costruttivi cold-formed. **Costruzioni metalliche**, n. 1, 2002.

LIMA, Rondinely Francisco de. **Técnicas, métodos e processos de projeto e construção do sistema construtivo Light Steel Frame.** 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2013. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/ISMS-9JXL52. Acesso em: 18 nov. 2019.

LOTURCO, Bruno. **Chapas cimentícias são alternativa rápida para uso interno ou externo.** Revista Téchne, São Paulo, nº 79, p. 62-66. PINI, Out. 2003.

MARTHA, L. F. **Análise de Estruturas: Conceitos e Métodos Básicos.** Elsevier Brasil, 2011.

MOLITERNO, Antonio. **Caderno de projetos de telhados em estruturas de madeira**. São Paulo: Ed. Edgard Blücher Ltda, 2003.

REGO, D. J. M. **Estruturas de Edifícios em Light Steel Framing.** 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2012.

RODRIGUES, F. C**. Steel Framing: Engenharia**. Centro Brasileiro de Construção em Aço (CBCA). Rio de Janeiro, 2006.

REDE NACIONAL DO BRASIL. Deficit habitacional bate recorde. 2019. Disponível em:https://www.redebrasilatual.com.br/cidadania/2019/01/deficit-habitacional-bate-recorde-e-movimento-de-moradia-ve-futuro-com-preocupacao/. Acesso em: 28 set.2019.

SILVA, Edson Lubas; PIERIN, Ygor; SILVA, Valdir Pignatta e. **Estruturas compostas por perfis formados a frio:** dimensionamento pelo método das larguras efetivas e aplicação conforme ABNT NBR 14762:2010 e ABNT NBR 6355:2012. Instituto Aço Brasil. Centro Brasileiro de Construção em Aço (CBCA). Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: http://sinop.unemat.br/site_antigo/prof/foto_p_downloads/fot_10429manual_estbutubas_compostas_pob_pebfis_fobmados_a_fbio_final_pdf.pdf. Acesso em: 18 nov. 2019

SOUZA, E, L, D. **CONSTRUÇÃO CIVIL E TECNOLOGIA: ESTUDO DO SISTEMA CONSTRUTIVO LIGHT STEEL FRAMING.** 2014. Monografia (Curso de Especialização em Construção Civil) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

SOLARA ENGENHARIA. **O que é Steel Frame**. 2016. Disponível em: http://www.solaradrywallbh.com.br/steel-frame/. Acesso em: 28 set. 2019.

STEELMAN. **Estrutura de edifício em Light Steel Framing parcialmente revestido com OSB**. Disponível em: http://pt.wikipedia.org/wiki/ligth_steel_framing. Acesso em 28 set.2019.

YU, Wei-Wen; LABOUBE, Roger **A. Cold-formed steel design**. John Wiley & Sons, 2010

WAITE, Timothy J. **Steel-frame house construction**. California: Craftsman Book Company, 2000.