



Ministério da Educação
Universidade Federal da Integração Latino-Americana
Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e
Território
Centro Interdisciplinar de Tecnologia e Infraestrutura

**Modelagem e simulação estrutural de uma residência empregando
o sistema *Light Steel Frame* (LSF)**

CESAR RODRIGO FARAONE WING CHONG

Foz do Iguaçu, PR
Dezembro de 2016



Ministério da Educação
Universidade Federal da Integração Latino-Americana
Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e
Território
Centro Interdisciplinar de Tecnologia e Infraestrutura

Modelagem e simulação estrutural de uma residência empregando o sistema *Light Steel Frame* (LSF)

Cesar Rodrigo Faraone Wing Chong

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Banca Examinadora do Curso de Engenharia Civil de Infraestrutura da UNILA, como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Aref Kalilo Lima Kzam

Co-orientador: Prof. Dr. Helenice Sacht

Foz do Iguaçu, PR
Dezembro de 2016

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais Felipe e Maria Gloria, e minha avó Juana Lucia “Lulú” pelo apoio incondicional em todos estes anos de vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por todas as oportunidades que tenho no dia a dia, pela saúde e forças para ir superando barreiras e cumprindo maiores desafios.

Maiores agradecimentos a minha mãe e meu pai pela motivação e o apoio, minha inspiração para conseguir me superar, sem a ajuda deles nada disto seria possível. Minha avó Juana Lucia pelos cuidados desde o meu nascimento até os dias de hoje. Aos meus irmãos Gabriela e Santiago pelos momentos de felicidade juntos. Ao meu primo Gabriel pelos conselhos e apoio nos momentos necessários, aos meus avos paternos pelos grandes recebimentos nos dias de visita, demonstrando sempre alegria e a importância da família para todos nós.

Aos demais familiares, por fazer parte da minha vida e ter compartilhado sempre bons momentos juntos

A Bárbara pela imensa ajuda em todos estes anos, pelo apoio incondicional e pelas lutas conquistadas juntos, imensa gratidão e espero que sejam mais conquistas no futuro.

Sinceros agradecimentos aos meus orientadores Aref Kzam, Cesar Winter de Mello e Helenice Sacht, por ter acompanhado e transmitido conhecimentos para este trabalho e em outros durante a graduação.

Aos professores da Universidade Federal da Integração Latino-Americana que contribuíram para a minha formação acadêmica.

A todos os que compartilharam comigo nesses anos de vida.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Percentagem de novas residências utilizando o sistema LSF (WRAP, 2007).	16
Figura 2 – Esquema de uma residência em Light Steel Framing (CRASTO, 2005).	16
Figura 3 – Fundação do tipo radier para residências em <i>Light Steel Framing</i> (CRASTO; FREITAS; SANTIAGO, 2012).	17
Figura 4 - Designações dos perfis de aço formados a frio para uso em LSF e suas aplicações (ABNT, 2005).	18
Figura 5 – Transmissão de carga vertical à fundação (CRASTO; FREITAS; SANTIAGO, 2012).	19
Figura 6 – Desenho esquemático de laje úmida (CRASTO; FREITAS; SANTIAGO, 2012).	20
Figura 7 – Desenho esquemático de laje seca (CRASTO; FREITAS; SANTIAGO, 2012).	20
Figura 8 – Estrutura de piso em Light Steel Framing (CRASTO; FREITAS; SANTIAGO, 2012).	21
Figura 9 – Elementos de uma tesoura para coberturas no sistema LSF (CRASTO, 2005).	22
Figura 10- Cobertura com telhas shingle (TCSHINGLE, 2015).	23
Figura 11 – Placas de Oriented Strand Board (OSB – Info, 2015).	24
Figura 12 – Placas cimentícias impermeabilizadas (BRASILIT, 2011).	24
Figura 13 - Sequência de montagem do sistema Drywall (CRASTO, 2005).	25
Figura 14 – (a) Isometria, (b) vista frontal, (b) e (c) vistas laterais.	27
Figura 15 - Fixação das diagonais dos painéis.	28
Figura 16 - Bloqueador e fita. Adaptado de NAHB (2000).	28
Figura 17 - Vista 3D da residência em LSF ..	30
Figura 18 - Plano das vigas de piso e da cobertura do pavimento superior.	31
Figura 19 - Eixo da fachada.	31
Figura 20 - Eixo 2	31
Figura 21 - Eixo da estrutura 3 e 4.	32
Figura 22 - Eixo da estrutura 5.	32
Figura 23 - Eixo A.	32
Figura 24 - Eixo B.	32
Figura 25 - Eixo C	33

Figura 26 – Eixo E	33
Figura 27 - Cargas de vento resultantes obtidos pelo programa Visualventos.	36
Figura 28 - Tela Inicial Robot Structural Analysis	38
Figura 29 - Fornecimento de cargas atuantes na estrutura.	39
Figura 30 - Obtenção dos esforços solicitantes e deslocamentos.....	39
Figura 31 - Verificação da estabilidade segundo as normas pre-estabelecidas no software	40
Figura 32 - Tela inicial do software Visualventos	64
Figura 33 - Comprimento de semi onda e fator local correspondente ao modo distorcional.	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dimensões dos perfis para LSF criados no RSA.....	29
Tabela 2: Ações consideradas na análise estrutural	34
Tabela 3 - Cargas de Flambagem Elástica - Flexão simples.....	48
Tabela 4 - Cargas de Flambagem Elástica - Compressão centrada.	48
Tabela 5 – Deslocamentos e esforços obtidos na análise estrutural.....	49
Tabela 6 - Cargas máximas resistentes	54
Tabela 7 - Comparação cargas resistentes obtidas pelo MRD e RSA	54

RESUMO

Atualmente os sistemas construtivos em alvenaria cerâmica e estruturas de concreto armado ainda são os mais utilizados em construções habitacionais. Em busca da modernização, os construtores, arquitetos e engenheiros encontram nos sistemas industrializados grandes vantagens visando à melhoria na produtividade e qualidade final da obra. O sistema *Light Steel Framing* (LSF) é uma alternativa vantajosa quando comparado aos sistemas construtivos tradicionais. O LSF consiste em estruturas leves de perfis de aço galvanizado, adequado para construções industrializadas e vantajoso devido a sua rapidez de execução. No presente trabalho apresenta-se o dimensionamento de uma edificação residencial de dois pavimentos de 170m², estruturada com LSF. Como resultado deste trabalho apresentam-se as respostas das análises e verificações do comportamento estrutural da residência por meio do método da resistência direta (MRD) e pelo software acadêmico ROBOT da Autodesk. Espera-se com este trabalho motivar e difundir o sistema construtivo LSF para que este seja uma alternativa em relação aos sistemas convencionais empregados no Oeste do Paraná.

Palavras-chave: Light Steel Framing; Análise estrutural; Dimensionamento, Construções industrializadas.

ABSTRACT

Currently the construction system in ceramic brick and reinforced concrete structures is the most used in housing constructions. Seeking for modernization, the builders, architects and engineers, found in industrialized systems great advantages aiming at the improvement in the production and final quality of the work. Light Steel Framing (LSF) is an advantageous alternative when compared to traditional building systems. The LSF consists of galvanized steel profile installations, suitable for industrialized buildings and advantageous due to their fast execution. The present work presents the design of a residential building of two floors of 170m², structured with LSF. As a result of this work the answers of the analysis and verifications of the structural behavior of the residence through the method of direct resistance (MRD) and the analysis making use of the academic software ROBOT, of Autodesk, are presented. It is intended with this work to motivate and diffuse the LSF constructive system as an alternative for conventional systems employed in West Paraná.

Keywords: Structures; Light Steel Framing design; Economic Feasibility.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	iii
LISTA DE FIGURAS.....	v
LISTA DE TABELAS	vii
RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	12
2. OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo Geral	14
2.2 Objetivos Específicos	14
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
3.1 O uso do aço na construção brasileira	15
3.2 O Sistema Construtivo Light Steel Framing.....	15
3.2.1 Tipos de Perfis Utilizados.....	18
3.2.2 Painéis	19
3.2.3 Lajes	20
3.2.4 Coberturas	22
3.2.5 Fechamentos Verticais para o Sistema LSF.....	23
3.3 Redução de desperdiços de materiais	25
3.4 Desempenho estrutural e execução do cálculo estrutural.	25
4. DESCRIÇÃO DO PROJETO A SER DIMENSIONADO	Error! Bookmark not defined.
4.1 Projeto arquitetônico em <i>Light Steel Framing</i>	27
4.2 Lançamento do reticulado metálico	28
4.3 Pré-dimensionamento	30
4.4 Ações consideradas.....	34
4.4.1 Ações permanentes	34
4.4.2 Ações variáveis	35
4.4.3 Ação do vento na estrutura (<i>NBR 6213:1988</i>).....	35
4.5 Combinações das ações	36
5. ANÁLISE DA ESTRUTURA E MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO.....	38
5.1 ROBOT Structural Analysis RSA 2015.....	38
5.2 Dimensionamento segundo a NBR 14762.....	40
5.3 Método da resistência direta	41
6. RESULTADOS	48
6.1 Cargas de flambagem elástica obtidas pelo software CU-FSM.....	48

6.2	Esforços e Deslocamentos obtidos	49
6.3	Carga máxima resistente	49
6.3.1	Viga de piso (Ue 200x40x12x1,25 mm) – Momento resistente obtido pelo método da resistência direta (MRD)	50
6.3.2	Montantes (Pilares) externos (Ue 140x40x12x0,95 mm)	55
6.3.3	Montantes (Pilares) internos (Ue 140x40x12x0,95 mm)	55
6.3.4	Viga de cobertura (Ue 200x40x12x1,25 mm)	56
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
	ANEXO 1	63
	ANEXO 2	66
	ANEXO 3	76

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Para melhor entendimento do conceito do sistema construtivo *Light Steel Framing* (LSF), define-se primeiramente o termo “Framing”, verbo derivado do substantivo “Frame” e que significa: formar um esqueleto estrutural com elementos lineares que dão forma e suportam as cargas do edifício. “Framing” é o processo pelo qual estes elementos se conectam (CONSULSTEEL, 2008).

O sistema LSF consiste em elementos estruturais de aço galvanizado com espessura mínima de 0,8mm e máxima de 3,0mm. Estes são classificados como perfis leves por sua grande esbeltez. São utilizados para reduzir o peso da estrutura que chega nas fundações, além do custo de construção da etapa estrutural de uma edificação devido a sua rápida montagem. De acordo com Crasto, Freitas e Santiago (2012) o sistema é utilizado principalmente na execução de habitações unifamiliares de pequeno porte (até dois pavimentos). De acordo com (RODRIGUES, 2006) o sistema vem se consolidando no mercado da construção civil brasileira com obras realizadas em diversas regiões do país.

A comparação do sistema LSF com o sistema tradicional de alvenaria para fins residenciais é necessária, tendo o LSF várias vantagens, tais como: alta resistência e baixo peso próprio (tanto da estrutura como dos demais componentes de vedação), grande precisão dimensional (os materiais são produzidos industrialmente com uma precisão em milímetros), resistência ao ataque de insetos (não é necessário fazer tratamento químico, como na madeira) e os materiais utilizados são infinitamente recicláveis, contribuindo para a sustentabilidade da edificação (VIVAN; PALIARI; NOVAES, 2010).

Por estes motivos, o LSF é uma opção importante para a industrialização do setor de edificações. Apesar do sistema tradicional apresentar técnicas mais acessíveis aos profissionais, o uso do mesmo leva a desperdícios, maior demora na execução e elevada probabilidade de surgimento de manifestações patológicas no canteiro de obra. De acordo com Vivan, Paliari e Novaes (2010), os construtores procuram modernizar os sistemas construtivos visando à melhoria na qualidade final e a longo prazo das construções. O uso desse sistema contribui também para o aumento do nível de especialização da mão de obra estabelecendo altos padrões de construção.

De acordo com Rodrigues (2006), o LSF tem sido utilizado intensamente há mais de trinta anos nos Estados Unidos, Inglaterra, Austrália, Japão e Canadá, substituindo a madeira, principal material utilizado nestes países para a construção de residências.

No Brasil, o uso do sistema LSF é ainda incipiente, isso justifica a importância de estudá-lo mais detalhadamente. De acordo com Medeiros (2009) há poucos profissionais capacitados para fazer o cálculo estrutural do sistema LSF e é escassa a mão de obra treinada para sua execução.

De acordo com Gomes et al (2013), o Brasil deve aumentar a quantidade de residências mais eficientes diminuindo o desperdício com o objetivo de atender a uma demanda crescente de moradias. Segundo o autor, para alterar esta situação, a opção a ser escolhida é a construção industrializada.

Com esses argumentos justifica-se a realização de uma análise estrutural de uma residência de dois pavimentos utilizando o sistema LSF. Desta maneira, procura-se motivar a aplicação deste sistema na região de Foz do Iguaçu-PR.

2

OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Realizar a análise estrutural de uma residência padrão para a região de Foz do Iguaçu-PR utilizando o sistema estrutural *Light Steel Framing* (LSF) e aplicar os critérios básicos a serem atendidos para o dimensionamento de perfis formados a frio utilizando o método da resistência direta (MRD) recomendado em norma.

2.2 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo principal desta pesquisa apresentam-se os objetivos específicos que configuram-se como a metodologia do trabalho, são eles:

- Realizar o pre-dimensionamento da estrutura, por meio das prescrições estabelecidas no Manual Steel Framing: Engenharia disponibilizado pelo Centro Brasileiro de Construção em Aço (CBCA)
- Elaborar um projeto estrutural de uma edificação de dois pavimentos construída com o sistema LSF;
- Aplicar as normas norteadoras para a elaboração de projetos de estruturas de aço, quais são: NBR 14762 – Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio – Procedimento, e NBR 6355 – Perfis estruturais de aço formados a frio – Padronização;
- Motivar o interesse pelo uso do sistema LSF, que é uma alternativa enxuta de construção.

3

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 O uso do aço na construção brasileira

De acordo com o Instituto Aço Brasil, o Brasil é uma potência mundial na produção de aço, sendo o maior produtor de aço bruto da América Latina. O país produz 33 milhões de toneladas de aço por ano, sendo o México o segundo maior produtor com 18 milhões por ano. Pesquisas realizadas no ano 2015 pelo centro Brasileiro da Construção em Aço (CBCA), a maioria das empresas que produzem os perfis para LSF se encontram na região Sudeste e Sul, correspondendo a 86% da produção nacional. No período de 2013 a 2015 ocorreu um aumento de 10.000 toneladas na fabricação de perfis de aço para a construção LSF, ademais, só em 2015 foram produzidas mais de 46.000 toneladas, demonstrando o crescente interesse do setor construtivo neste sistema. No Brasil são 20 empresas que fabricam os perfis, o que representa uma capacidade produtiva instalada de 94.000 toneladas (CBCA, 2016).

O uso do material na construção ainda não se encontra no nível que o potencial do parque industrial do aço pode suprir. O sistema é tecnicamente viável, porém faltam estudos para demonstrar sua viabilidade econômica e compatibilização com a realidade brasileira. Por ser um sistema industrializado e racionalizado os processos de construção precisam que a mão de obra seja especializada e os profissionais desenvolvam projetos mais detalhados e bem elaborados (GOMES et al, 2013; LIMA, 2013).

3.2 O Sistema Construtivo Light Steel Framing

O sistema construtivo *Light Steel Framing* é composto por quadros formados por perfis estruturais de aço conformados a frio (perfis de aço leve de chapa dobrada) com revestimento metálico (proteção anticorrosiva) ligados em geral por parafusos autobrocantes e atarraxantes do tipo zincados (Brasil, 2012). O sistema construtivo pode ser utilizado para a construção tanto de edificações residenciais como também edificações industriais e comerciais onde são necessários grandes vãos com até 12,00m (LIMA, 2013). A filosofia para o processo de construção assemelha-se ao utilizado na indústria automotiva. Devido ao alto nível de precisão que devem ter os projetos, os painéis não requerem modificações ou ajustes na etapa em obra. Poucos materiais são necessários para unir a estrutura, então estes também são fornecidos em quantidades exatas, diminuindo desperdícios (WRAP, 2007).

Na Figura 1 apresentam-se os dados coletados pelo programa de ações para gerenciamento de recursos e resíduos do Reino Unido (WRAP, sendo a sigla em inglês)

demonstrando a inserção do sistema LSF na Austrália, Reino Unido, Estados Unidos e Brasil. No Brasil os dados foram obtidos do CBCA. Verifica-se o baixo índice nacional se comparado aos países com alto índices de desenvolvimento.

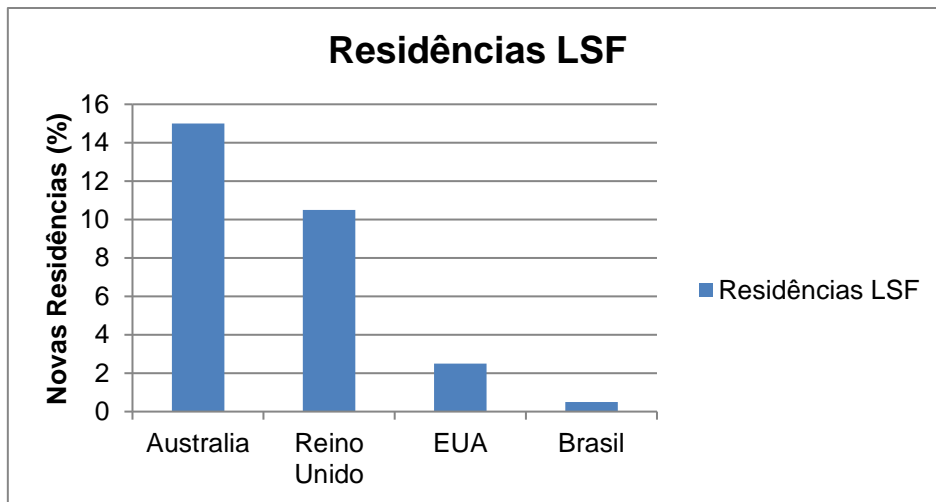


Figura 1 – Percentagem de novas residências utilizando o sistema LSF (WRAP, 2007).

Para ilustrar o emprego do sistema LSF, ilustra-se na Figura 2 um croqui de uma residência com dois pavimentos, composta por paredes, pisos e cobertura formado por um esqueleto estrutural de perfis leves de aço galvanizado. As paredes da estrutura são denominadas painéis estruturais, compostos por perfis galvanizados leves separados entre si de 400 até 600mm.

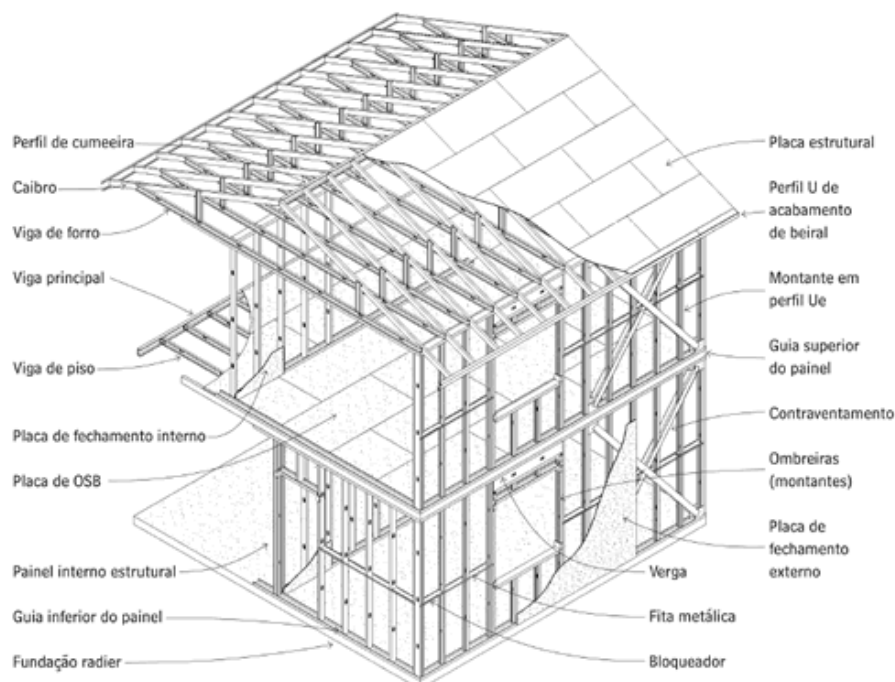


Figura 2 – Esquema de uma residência em Light Steel Framing (CRASTO, 2005).

O desenho da Figura 2 ilustra uma residência com laje seca e uma fundação do tipo radier, a melhor opção para residências no sistema LSF. Os pisos formados por perfis na horizontal, possuem a mesma separação que as paredes. Estas formam as vigas de piso que suportam o contrapiso. A cobertura é completamente constituída por perfis de aço compostos por: caibros, cumeeira, viga de forro que serve de suporte para as placas estruturais que depois levarão as telhas (CRASTO; FREITAS; SANTIAGO, 2012).

De acordo com Campos (2015), as fundações para o sistema LSF são mais econômicas do que as utilizadas em edificações do mesmo porte com outros sistemas construtivos. Um fator relevante seria o menor peso da estrutura em comparação a alvenaria estrutural e estruturas pré-moldadas de concreto. As fundações mais executadas para edificações residenciais são as fundações rasas, como as sapatas corridas e o radier, porém, a escolha da fundação depende também da tipologia e das características do solo onde será edificado. A fundação tipo laje radier, representada na Figura 3, é a fundação geralmente utilizada para construções em LSF, desde que o terreno permita sua execução. O radier funciona como uma laje que transmite as cargas da estrutura para o terreno (CRASTO; FREITAS; SANTIAGO, 2012).

Para a realização da ligação entre a fundação e a estrutura em LSF são utilizadas ancoragens metálicas que dependem do tipo de fundação e das solicitações que ocorrem na estrutura, sobretudo devidas a ação do vento (LIMA, 2013). A ligação entre o painel e a fundação deverá ser firmemente ancorada (engastada na fundação), de modo a constituir painéis com a função de diafragma vertical para resistir às cargas laterais. (VITOR, 2012).

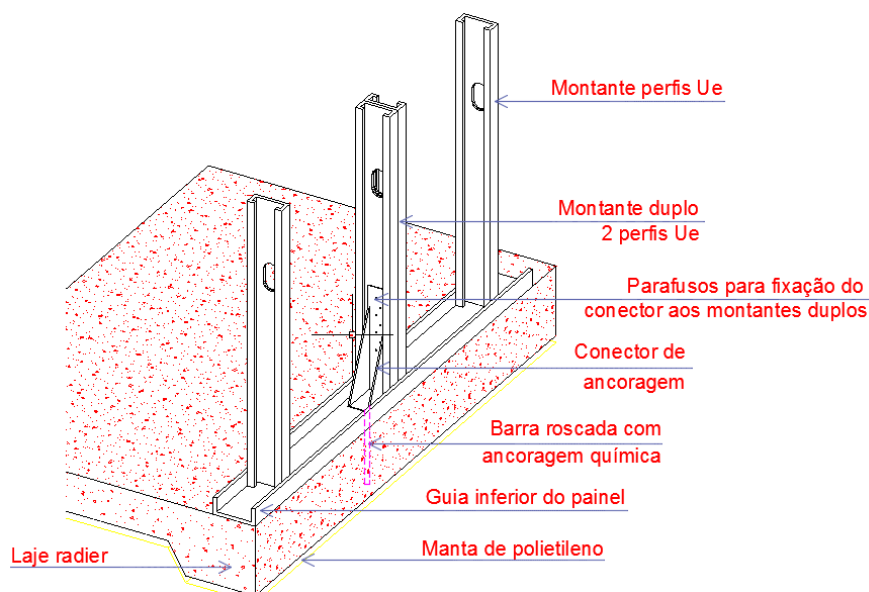


Figura 3 – Fundação do tipo radier para residências em *Light Steel Framing* (CRASTO; FREITAS; SANTIAGO, 2012).

De acordo com a diretriz SINAT 003/2010 (BRASIL, 2016), o dispositivo de fixação (chumbador) empregado para fixar os quadros metálicos à fundação e à laje deve ser verificado em função das cargas de vento e da agressividade característica da região onde serão implantadas as unidades habitacionais (VITOR, 2012).

3.2.1 Tipos de Perfis Utilizados

Na Figura 4 apresentam-se os quatro tipos de perfis típicos utilizados no sistema LSF. Estes são obtidos por perfilagem a partir de bobinas de aço revestidas com zinco ou liga alumínio-zinco pelo processo contínuo de imersão a quente ou por eletrodeposição, conhecido como aço galvanizado. A geometria dos perfis estruturais deve ser de acordo com a NBR 6355 (ABNT, 2012), e a resistência ao escoamento não deve ser inferior a 230 MPa (CRASTO; FREITAS; SANTIAGO, 2012; LIMA, 2013).

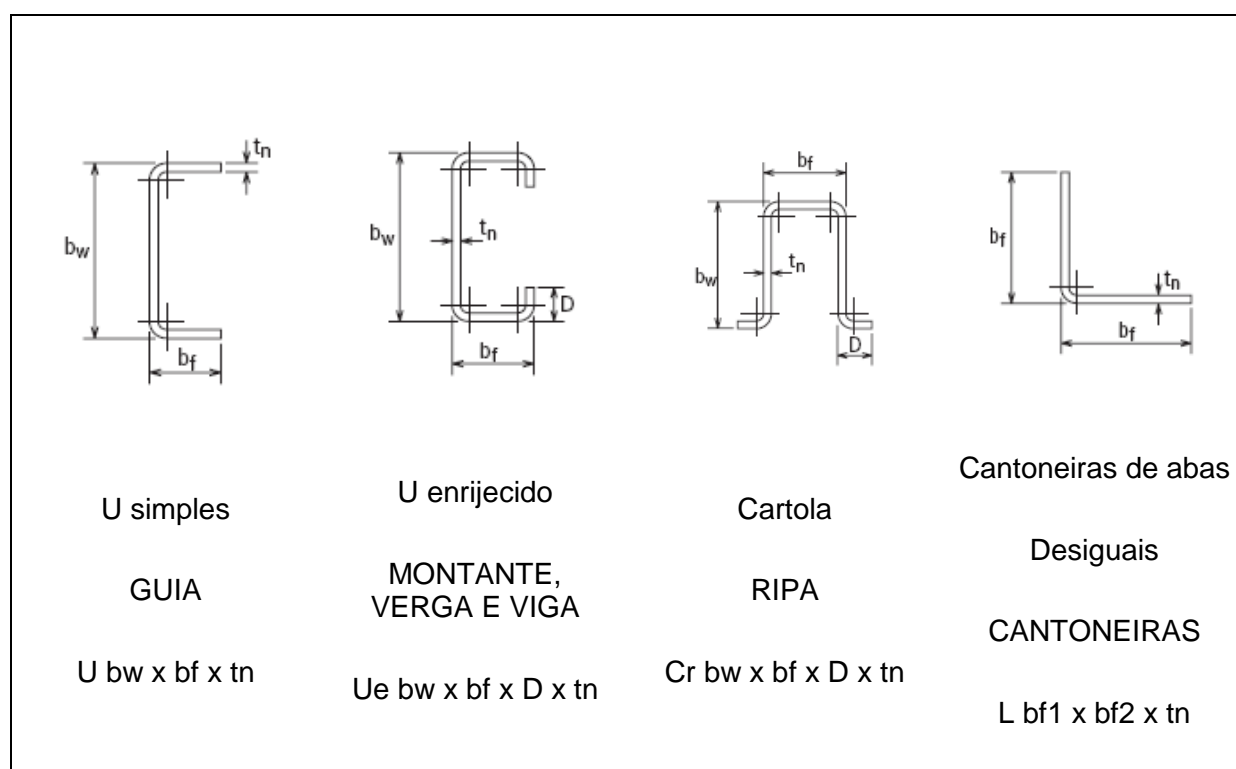


Figura 4 - Designações dos perfis de aço formados a frio para uso em LSF e suas aplicações (ABNT, 2005).

No sistema “Drywall”, bastante utilizado para vedações internas no Brasil, a espessura mínima para os perfis leves de aço galvanizado é de 0,5mm. Já no sistema LSF, os perfis tem função estrutural, por isso apresentam espessura com no mínimo de 0,9mm (CONSULSTEEL, 2008).

A modulação ou separação equidistante dos perfis galvanizados no sistema LSF é determinada pelas cargas que atuam sobre cada perfil. Esta modulação geralmente é a mesma para toda a estrutura: painéis, lajes e telhados (CONSULSTEEL, 2008).

A Associação Nacional de construtores residenciais dos EUA (*National Association of Home Builders*), em um recente estudo realizado, demonstrou que a proteção com zinco dos perfis de aço galvanizado podem proteger o perfil contra a corrosão por mais de 100 anos (SFA,2007). Em comparação com perfis de madeira, os perfis de aço galvanizado são 1/3 mais leves facilitando o transporte e montagem (SFA,2007).

O processo construtivo *Light Steel Frame* (LSF) evoluiu e quase substituiu as estruturas de madeira para residências nos Estados Unidos da América em meados de 1980, quando a madeira teve um aumento de custo considerável (WRAP, 2007).

3.2.2 Painéis

Os painéis do sistema LSF são auto-portantes ou também podem cumprir somente o papel de vedação como no caso do sistema de alvenaria tradicional (CRASTO; FREITAS; SANTIAGO, 2012). Na Figura 5 apresenta-se o painel distribuindo os esforços verticais que são transferidos diretamente para a fundação. Como comentado anteriormente, os perfis do sistema LSF são leves, tendo um menor peso em comparação com o sistema tradicional de alvenaria, o que exige menos da fundação e a distribuição da carga é uniforme ao longo dos painéis estruturais (CONSULSTEEL, 2008).

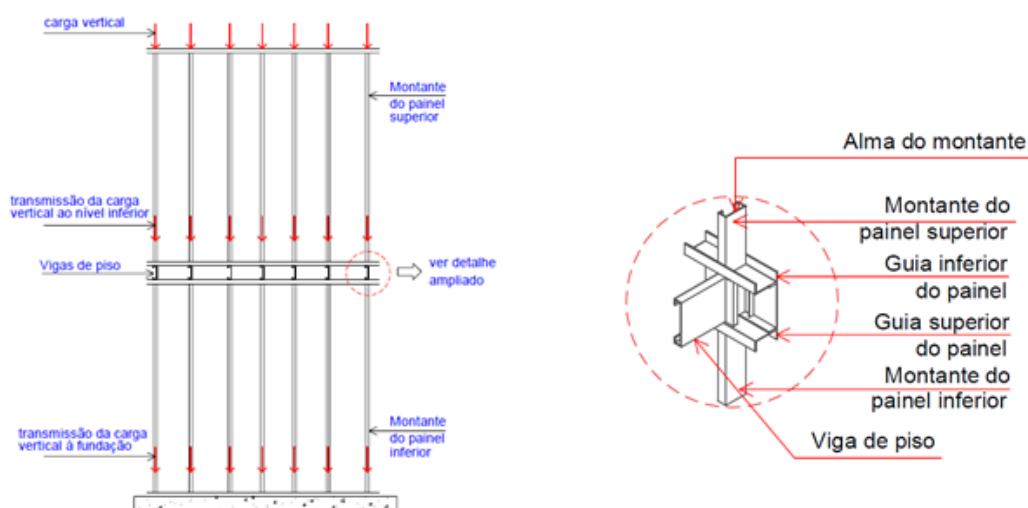


Figura 5 – Transmissão de carga vertical à fundação (CRASTO; FREITAS; SANTIAGO, 2012).

A modulação ou distância entre montantes geralmente é de 400 ou 600 mm, sendo determinadas pelas solicitações que cada perfil é submetido. Quanto maior a distância entre os montantes, menor a quantidade de perfis de aço galvanizado a serem utilizados. Porém, cada perfil estrutural deverá absorver maior carga (CRASTO; FREITAS; SANTIAGO, 2012).

3.2.3 Lajes

Geralmente são utilizadas dois tipos de lajes: a de tipo úmida e a do tipo seca representadas na Figura 6 e Figura 7, respectivamente. Na laje tipo úmida é utilizada uma chapa metálica ondulada aparafusada às vigas e preenchida com uma camada de concreto simples. Esta camada é de 4 a 6 cm que serve como base para a colocação de piso cerâmico, de madeira, pedras ou laminados, entre outros (CRASTO; FREITAS; SANTIAGO, 2012).

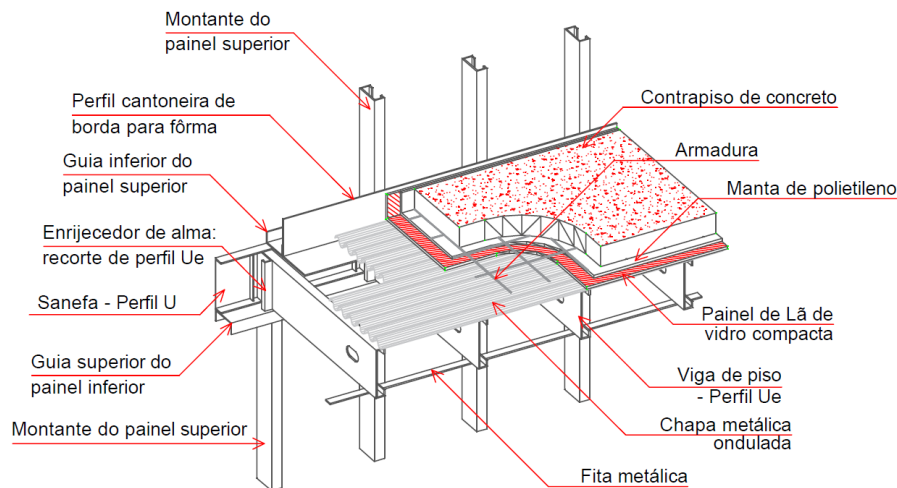


Figura 6 – Desenho esquemático de laje úmida (CRASTO; FREITAS; SANTIAGO, 2012).

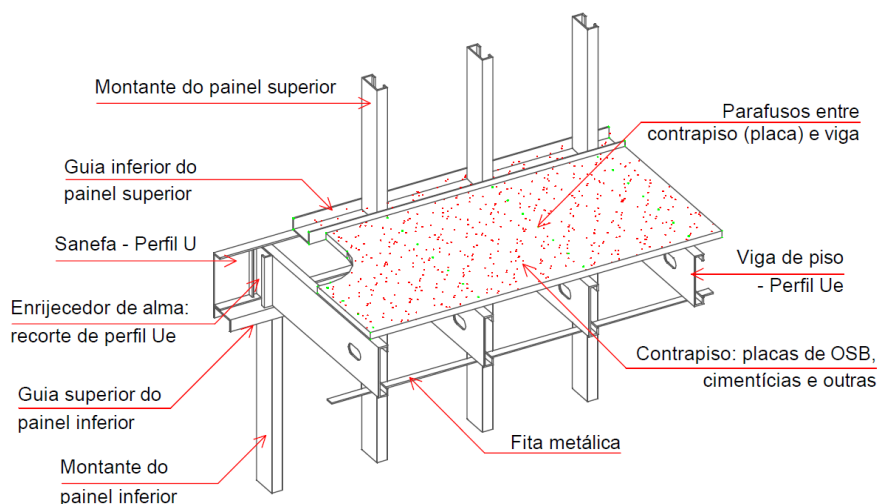


Figura 7 – Desenho esquemático de laje seca (CRASTO; FREITAS; SANTIAGO, 2012).

Na laje do tipo seca são utilizadas as placas rígidas de *Oriented Strand Board* (OSB), que servem como contrapiso. Este tipo de laje apresenta propriedades estruturais favorecendo o uso como diafragma horizontal, como também a uma execução rápida por ser leve e de fácil instalação (CRASTO; FREITAS; SANTIAGO, 2012). As placas OSB de 18mm de espessura são as mais utilizadas. Nos banheiros e demais lugares úmidos são recomendados a utilização de placas cimentícias como contrapiso, já que estas possuem melhor resistência contra a umidade.

A grande diferença da laje seca em relação à laje úmida é a menor carga devido ao peso próprio da laje. Como não utiliza água para sua construção, trata-se de uma obra seca (CONSULSTEEL, 2008). Para reduzir o nível de ruído entre um pavimento e outro são colocados lâ de vidro entre as vigas, além do uso de uma manta de polietileno expandido entre o contrapiso e a estrutura (CRASTO; FREITAS; SANTIAGO, 2012).

Na maioria dos casos, o vigamento de piso que forma a laje se apoia nos montantes dos painéis, coincidindo com a alma dos perfis mantendo uma estrutura alinhada, como apresentado na Figura 8. Em casos em que a modulação das vigas de piso não esteja alinhada com a alma dos perfis das montantes, deve-se colocar uma viga composta, que irá distribuir as cargas uniformemente (CRASTO; FREITAS; SANTIAGO, 2012).

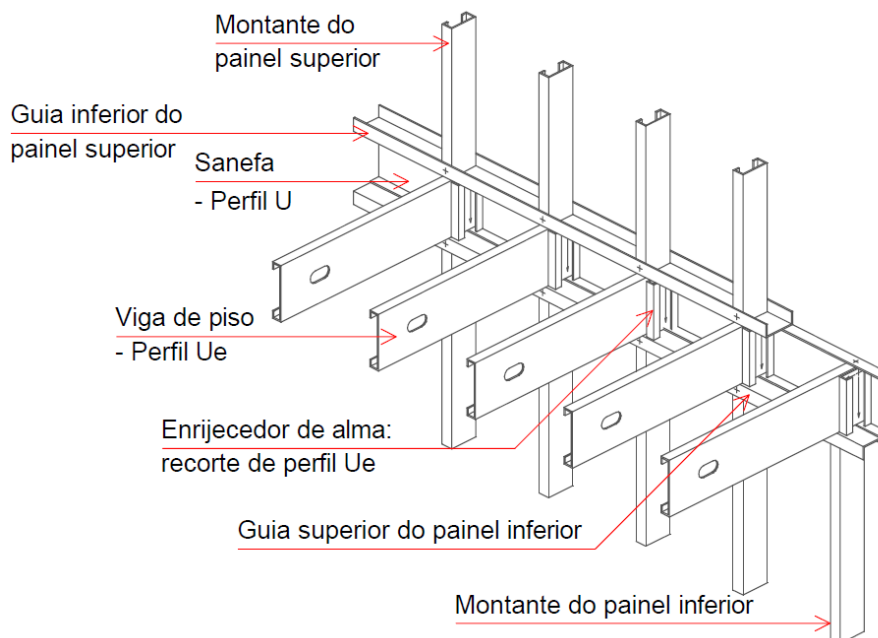


Figura 8 – Estrutura de piso em Light Steel Framing (CRASTO; FREITAS; SANTIAGO, 2012).

3.2.4 Coberturas

Segundo Crasto (2005), os telhados inclinados são os mais utilizados no Brasil, pois possuem maior eficiência no que diz respeito ao conforto ambiental. Porém, a cobertura também pode ser do tipo plana, menos comum no caso de estruturas residências com LSF.

As coberturas inclinadas podem ser de dois tipos:

- Coberturas estruturadas com caibros e vigas;
- Coberturas estruturadas com tesouras ou treliças (conforme ilustrado na Figura 9).

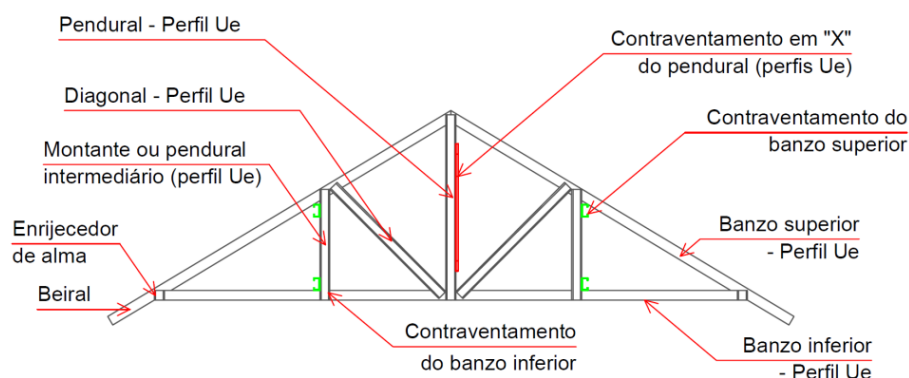


Figura 9 – Elementos de uma tesoura para coberturas no sistema LSF (CRASTO, 2005).

De acordo com Crasto (2005), a tesoura é formada geralmente por perfis U enrijecidos (Ue) conectados, resultando assim em uma estrutura estável. A seguir são apresentados os membros estruturais que a compõem:

- Banzo superior: perfil Ue que dá forma e inclinação à cobertura do telhado;
- Banzo inferior: perfil Ue que dá forma e inclinação ao forro do espaço coberto;
- Montantes ou pendurais: perfis Ue dispostos verticalmente e que vinculam o banzo superior com o inferior;
- Diagonais: perfis Ue inclinados que vinculam o banzo;
- Enrijecedores de apoio: recorte de perfil Ue colocado nos pontos de apoio da tesoura, para a transmissão dos esforços e evitar a flambagem local dos perfis dos banzos;
- Contraventamentos: perfis U, Ue ou fitas de aço galvanizado que vinculam as tesouras e proporcionam estabilidade ao sistema de cobertura.

As coberturas estruturadas com tesouras ou treliças são as mais utilizadas nas coberturas de residências. A estrutura da cobertura em LSF segue o mesmo princípio

estrutural dos telhados convencionais em madeira. Utilizando-se esta solução estrutural consegue-se cobrir grandes vãos sem a necessidade de apoios intermediários (CRASTO, 2005).

Diversos tipos de telhas podem ser utilizados com o sistema LSF, como as cerâmicas, telhas metálicas e asfálticas. Na Figura 10 apresenta-se o telhado asfáltico conhecido comercialmente como telhas *shingle*. Segundo Campos (2014) este é o mais indicado para a cobertura em estruturas com LSF devido ao seu baixo peso, permitindo uma estrutura mais esbelta. Porém, pelo seu alto custo, raramente é utilizado no Brasil.



Figura 10- Cobertura com telhas shingle (TCSHINGLE, 2015).

3.2.5 Fechamentos Verticais para o Sistema LSF

Segundo Crasto (2005), o sistema de fechamento vertical é composto pelas paredes externas e internas da edificação. Os materiais utilizados para o fechamento no sistema LSF devem ser leves, compatíveis com o conceito da estrutura.

Seguindo o conceito de racionalização, utilizam-se materiais industrializados, com o objetivo de uma melhor otimização da utilização de chapas e placas para o fechamento. Estas são dimensionadas com largura de 1200mm, múltiplo da modulação de 400mm ou 600mm, como ocorre com as placas de gesso acartonado e placas cimentícias (CRASTO; FREITAS; SANTIAGO, 2012).

A vedação da estrutura é realizada com alguns tipos de chapas e placas. Segundo Campos (2014) os materiais mais utilizados no Brasil são:

- Placas de OSB (*Oriented Strand Board*) estruturais;
- Placas cimentícias;

- Placas de gesso acartonado.



Figura 11 – Placas de Oriented Strand Board (OSB – Info, 2015).



Figura 12 – Placas cimentícias impermeabilizadas (BRASILIT, 2011).

As placas de OSB podem ser utilizadas como fechamento da face externa ou interna como também para contrapiso e na cobertura como apoio para as telhas *shingles* ou cerâmicas (CRASTO; FREITAS; SANTIAGO, 2012). Estas placas devem ser protegidas contra a água e umidade por uma manta de polietileno.

As placas cimentícias são compostas por uma mistura de cimento Portland, fibras de celulose ou sintéticas e agregados. São utilizadas como fechamento externo ou interno. Para fechamento interno elas substituem o gesso acartonado, em especial em áreas molháveis. Por causa da existência de vários tipos de placas cimentícias no mercado com diferenças em suas composições, é essencial obter junto ao fabricante suas características e recomendações de uso para o produto (CRASTO; FREITAS; SANTIAGO, 2012).

As placas de gesso acartonado são compostas por uma mistura de gesso, água e aditivos, revestidas em ambos lados com lâminas de cartão. São utilizados para o fechamento vertical da face interna dos painéis estruturais e também das divisorias internas. Os painéis que não são estruturais e as divisorias internas da residência podem ser montados pelo sistema *Drywall*, utilizando o gesso acartonado (CRASTO; FREITAS; SANTIAGO, 2012).

As três placas podem ser transportadas manualmente por serem muito leves, são fixadas e montadas de forma muito semelhante ao sistema *Drywall*. A montagem do sistema segue a seguinte sequência, ilustrada na Figura 13:

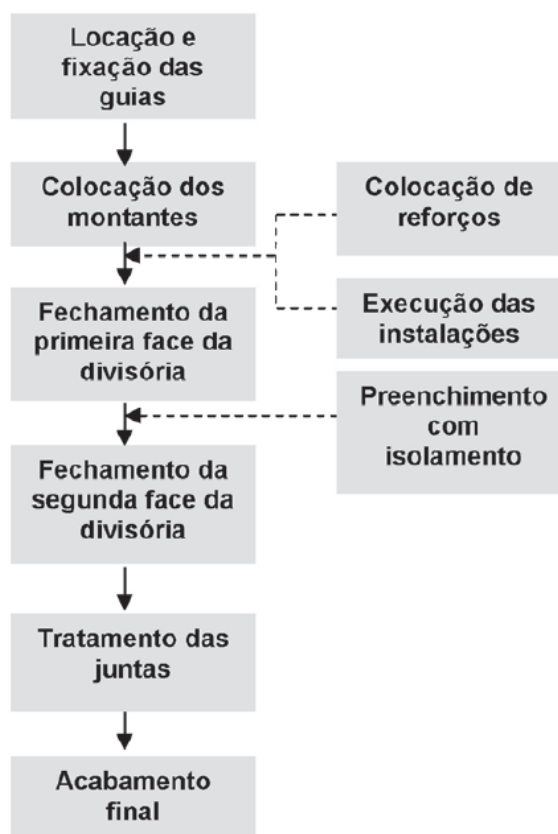


Figura 13 - Sequência de montagem do sistema Drywall (CRASTO, 2005).

3.3 Redução de desperdícios de materiais

Foi demonstrado que a utilização do sistema LSF reduz o desperdício de materiais na obra entre 40 até 70% em comparação dos processos tradicionais de construção. Os processos e procedimentos são muito similares aos utilizados na indústria automotiva onde a administração dos resíduos é uma atividade muito sensível e essencial para ganhar competitividade no mercado (WRAP, 2007).

Construtoras do Reino Unido, no processo de montagem e instalação, produzem resíduos de materiais que chegam somente a 1% do total de materiais utilizados, e esta percentagem pode ser totalmente reciclada e reutilizada. Com o sistema LSF o engenheiro pode ter a quantidade exata de materiais a serem utilizados na obra (desde os perfis de aço, parafusos, etc), como também evitar a geração de resíduos e perdas potenciais devido ao dano ou pedidos desnecessários de materiais (WRAP, 2007).

3.4 Desempenho estrutural e execução do cálculo estrutural

Segundo a diretriz SINAT 003/2016 (BRASIL, 2016), o relatório com o memorial das resistências estruturais e estabilidade global deverão conter os seguintes requisitos:

- Premissas do memorial de cálculo estrutural realizado por profissional habilitado atendendo as normas NBR 8800:2008 e NBR 14762:2010;
- Cargas laterais (cargas de vento) consideradas conforme a NBR 6123:1988, sendo o deslocamento horizontal no topo da edificação estabelecido pelo critério da NBR 14762:2010;
- Ancoragem da estrutura dimensionada conforme as cargas consideradas;
- O espaçamento entre montantes indicados na parede, a quantidade de travessas, bloqueadores e de barras de contraventamento;
- Considerar o peso próprio dos materiais e cargas de vento característica da região, atentando para a resistência das fixações entre perfis e para o espaçamento e espessura dos perfis cartola.
- Memória de cálculo: - hipóteses de cálculo – cargas consideradas – verificação da estabilidade dos perfis – dimensionamento das ligações (inclusive ancoragens) e estrutura de cobertura.
- Consideração das seguintes ações: cargas permanentes, variáveis ou excepcionais, análogas aos demais sistemas construtivos.

4

DESCRIÇÃO DO PROJETO A SER DIMENSIONADO

4.1 Projeto arquitetônico em *Light Steel Framing* - Estrutura a ser analisada

Por manter uma modulação tanto vertical como horizontal na estrutura construída com o sistema LSF, os projetos arquitetônicos devem ser feitos de forma integrada, com o objetivo de obter economia e racionalidade nas construções. A transmissão de tensões que atuam sobre as paredes sugerem a uniformização das cargas verticais ao longo da altura da edificação. Sobre a planta de arquitetura devem ser lançados os eixos que geram os painéis (LIMA, 2013). Recomenda-se que os montantes de cada painel sejam orientados para uma mesma direção, os encontros de painéis devem ser projetados de maneira a facilitar a montagem, sendo recomendado o uso das configurações constantes.

As paredes, lajes, pisos e cobertura do anteprojeto arquitetônico são representados por painéis que se interagem formando a estrutura da edificação, sempre os perfis mantendo uma estrutura alinhada. Na Figura 14 apresenta-se a vista isométrica no canto superior esquerdo, seguido da fachada principal e logo as vistas leste e oeste da residência.

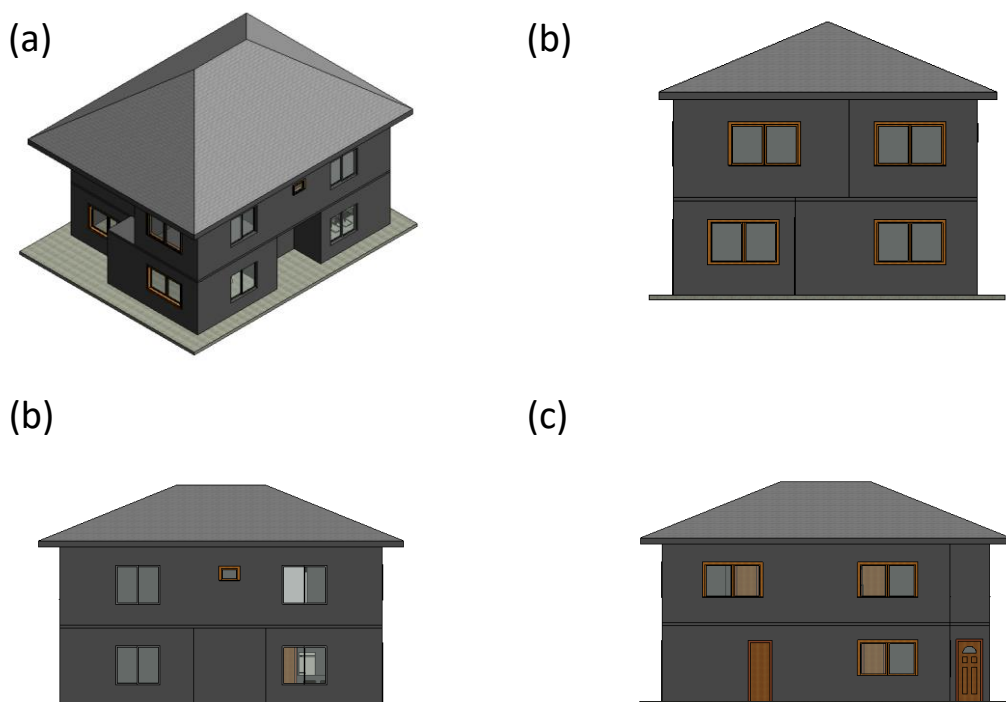


Figura 14 – (a) Isometria, (b) vista frontal, (b) e (c) vistas laterais.

A cobertura é estruturada com tesouras, a solução mais utilizada no Brasil. No país já vem sendo substituída as tesouras ou treliças de madeira pelos perfis de aço, em casos de *retrofit*, pelas vantagens que estas fornecem, como grande resistência estrutural,

incombustibilidade, e imunidade a insetos. Neste trabalho será modelada uma cobertura plana com o objetivo de facilitar a modelagem.

4.2 Lançamento do reticulado metálico

A partir do projeto arquitetônico deve-se lançar o reticulado metálico. De acordo com Rodrigues (2008), a estrutura deve ser dividida numa grande quantidade de componentes estruturais de maneira que cada uma resista a uma pequena parcela da carga total aplicada.

Conforme Rodrigues (2006), os perfis formados a frio (PFF) formam a estrutura que deve ser calculada e projetada para dar suporte e forma à edificação. Além de perfis, o sistema estrutural é composto pelos materiais de ligações entre barras, contraventamento, travamentos laterais e ancoragens (Figura 15).

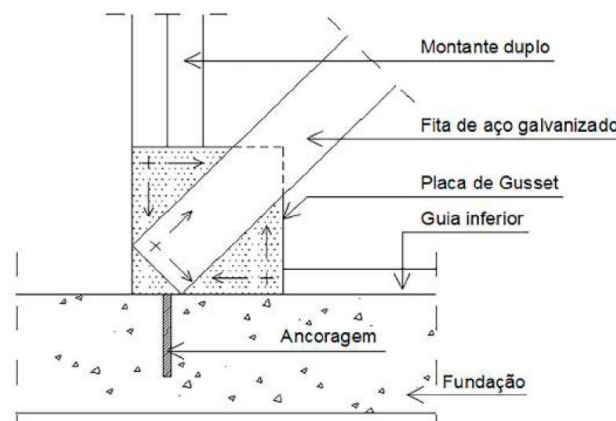


Figura 15 - Fixação das diagonais dos painéis.

O bloqueador é um perfil devidamente projetado para combater a tendência de flambagem do montante por flexo-torção e viga por flambagem lateral com torção. São peças fabricadas geralmente com perfis U.

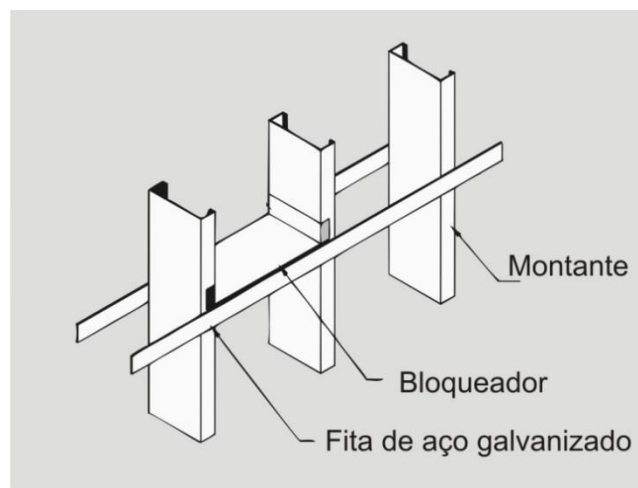


Figura 16 - Bloqueador e fita. Adaptado de NAHB (2000).

Os bloqueadores devem ser instalados conforme projeto nas proximidades de aberturas de portas e janelas dos painéis e também no centro de painéis longos. Sua conexão é feita por meio de cantoneiras ou de cortes no próprio perfil, resultando em abas que facilitam a sua ligação parafusada aos montantes (LIMA, 2007).

Os componentes de ligação devem ser dimensionados de forma que sua resistência de cálculo seja igual ou superior aos máximos esforços solicitantes de cálculo, determinados com base nas combinações de ações para os estados limites-últimos estabelecidos na NBR 14762 (ABNT,2010).

Para o lançamento do reticulado metálico foi utilizado o software Robot Structural Analysis Professional 2015 (RSA) da Autodesk. O RSA é um software que fornece uma análise estrutural BIM integrada e avançada e possui ferramentas para entender o comportamento de qualquer estrutura e verificar, segundo os requerimentos das normas regulamentadoras, os critérios de dimensionamento.

As dimensões dos perfis de aço para *Light Steel Frame* utilizados no Brasil não se encontram no catálogo padrão do software RSA. Os perfis encontrados no mercado nacional brasileiro foram criados na biblioteca do software e são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Dimensões dos perfis para LSF criados no RSA.

Propriedades geométricas NBR 15253 (ABNT,2014)			
	Ue BwxBfxDxt		
	200	140	90
A (cm²)	3,59	2,86	1,72
b_w (mm)	200	140	90
b_f (mm)	40	40	40
D (mm)	12	12	12
tn (mm)	1,25	0,95	0,95
I_x (cm⁴)	193,57	81,97	22,35
W_x (cm³)	4,4	11,71	4,97
r_x (cm)	7,34	5,35	3,61
x_g (cm)	0,85	1,05	1,31
x₀ (cm)	2,24	2,65	3,19
I_y (cm⁴)	6,36	5,80	3,93
W_y (cm³)	2,02	1,96	1,46
r_y (cm)	1,33	1,42	1,51
J (cm⁴)	0,0176	0,0141	0,0048
C_w (cm⁶)	511,10	231,02	70,23
R₀ (cm)	7,79	6,14	5,05

Na Figura 17 apresenta-se a estrutura completa a ser analisada. Os montantes e vigas estão espaçados a cada 400mm. Todas as vigas foram consideradas biapoiadas.

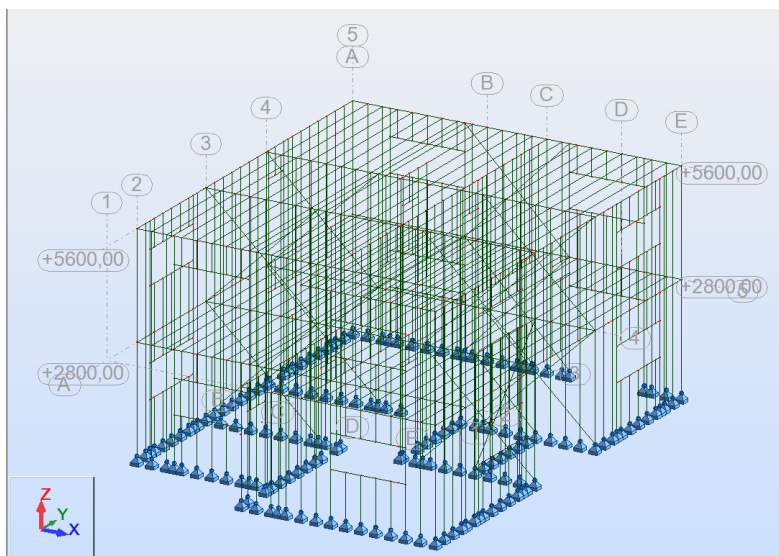


Figura 17 - Vista 3D da residência em LSF.

4.3 Pré-dimensionamento

O pré-dimensionamento foi realizado com as tabelas e gráficos fornecidos pelo Manual *Light Steel Frame: engenharia* (Rodrigues, 2016). Para as vigas, todas contínuas, foram adotados vãos menores do que 4000 mm. Visando obter maior momento fletor resistente de cálculo referente à flambagem lateral com torção (FLT), que é determinado considerando-se o trecho compreendido entre seções com contenção lateral, foram utilizados bloqueadores nas seções centrais das vigas com vãos de 2800 mm, 3200 mm, 3600 mm, 4000 mm. Desta forma, os cálculos foram feitos considerando-se os comprimentos destravados de 1400 mm, 1600 mm, 1800 mm, 2000 mm, respectivamente. A seguir são descritos os perfis, selecionados da Tabela 1 de pré-dimensionamento, para a composição dos painéis.

- Ue 200x40x12x1,25 mm – Vigas de piso, vigas de cobertura;
- Ue 140x40x12x0,95 mm – Montantes externos;
- Ue 90x40x12x0,95 mm – Montantes internos,
- U 142x38x0,95 mm – Guia de montantes externos.
- U 92x38x0,95 mm – Guia de montantes internos.
- Fita estrutural 100 x 0,95 e 50 x 0,95 – contraventamento em “X”.

A partir da Figura 18 até a Figura 26 são apresentados os modelos que fazem parte do pórticos criados no software RSA. Após a modelagem geométrica introduz-se os carregamentos para a realização da análise estrutural e a obtenção dos deslocamentos e esforços da estrutura.

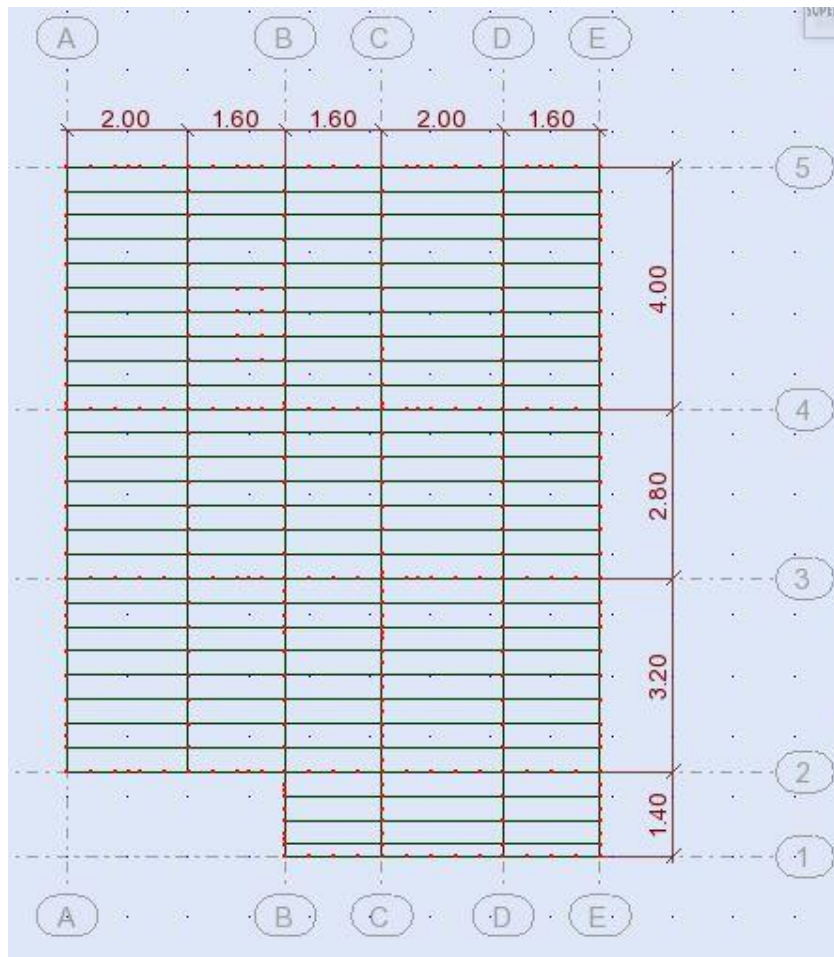


Figura 18 - Plano das vigas de piso e da cobertura do pavimento superior.

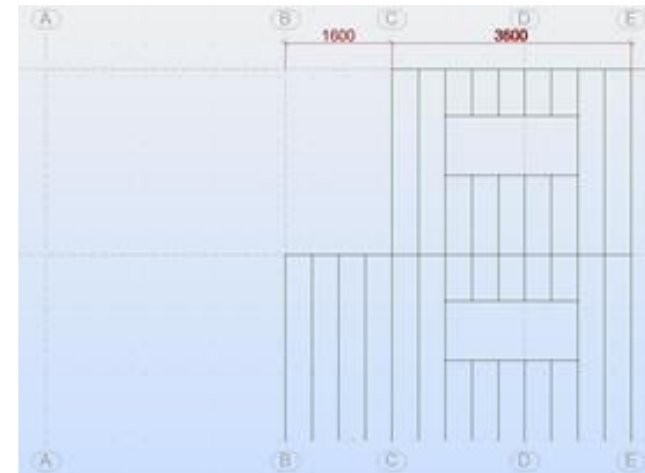


Figura 19 – Eixo da fachada.

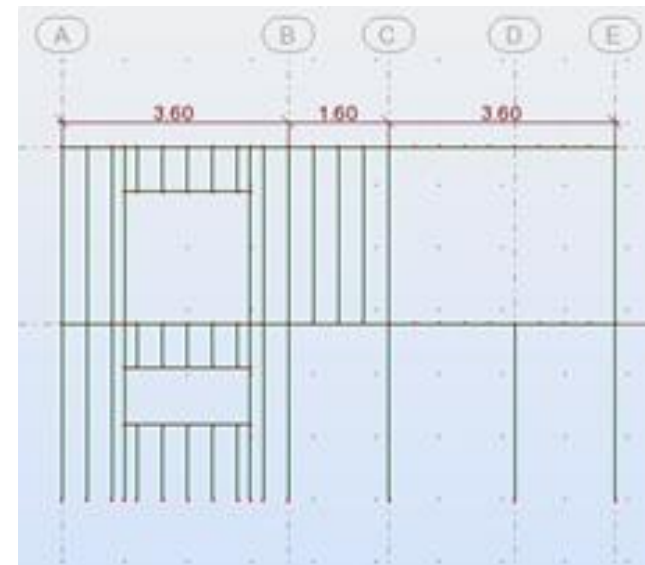


Figura 20 - Eixo 2.

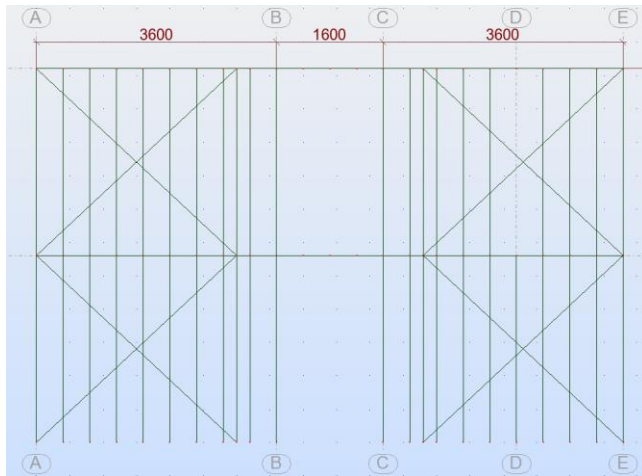


Figura 21 - Eixo da estrutura 3 e 4.

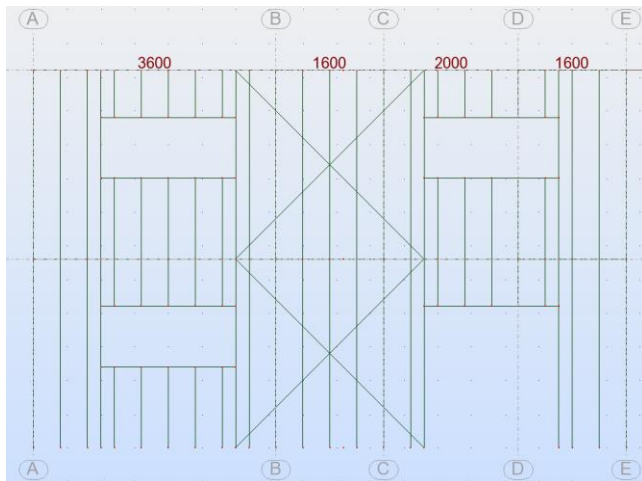


Figura 22 - Eixo da estrutura 5.

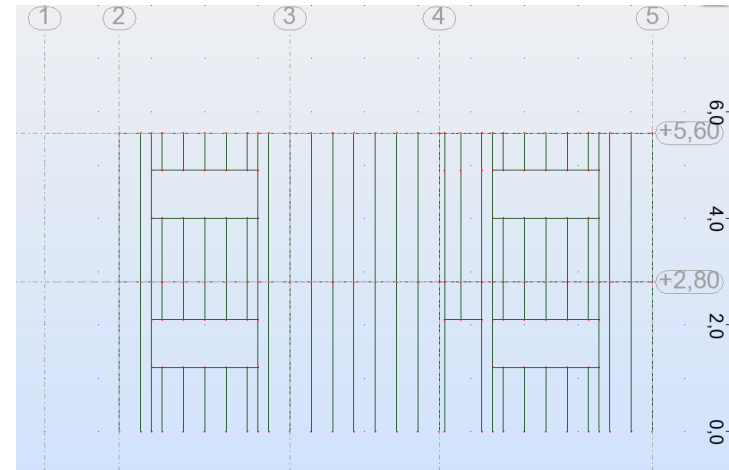


Figura 23 – Eixo A.

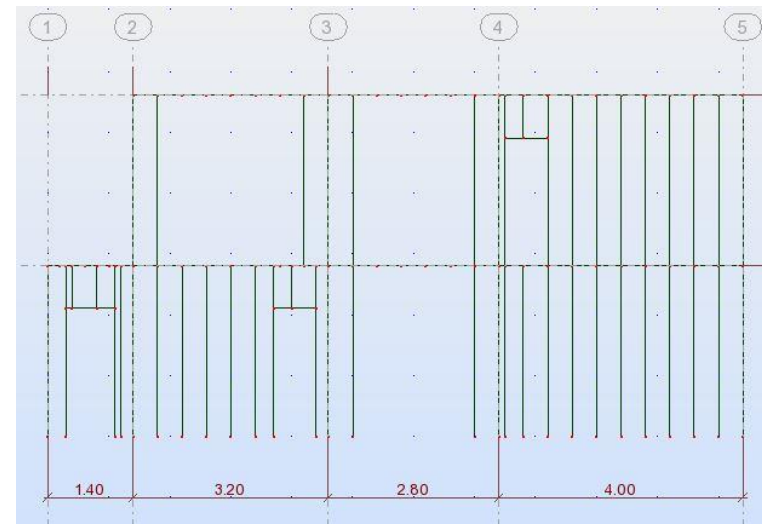


Figura 24 – Eixo B.

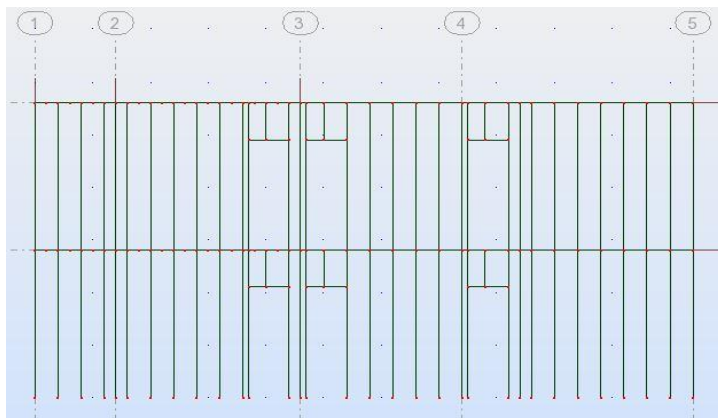


Figura 25 – Eixo C.

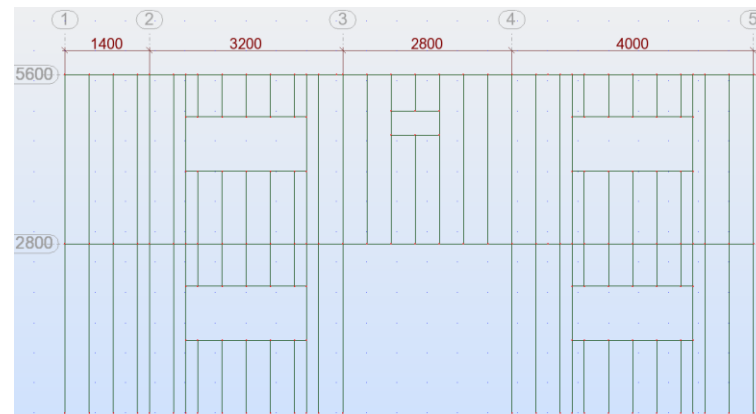


Figura 26 – Eixo E.

4.4 Ações consideradas

4.4.1 Ações permanentes

A ação permanente é constituída pelo peso próprio dos elementos estruturais e dos demais elementos suportados diretamente pela estrutura.

O peso próprio dos elementos estruturais individuais pode ser determinado segundo a experiência do projetista ou definido automaticamente pelo software utilizado para a análise estrutural. Neste projeto, o software fornecerá o carregamento segundo o peso próprio do pórtico automaticamente.

Os materiais que formam os painéis são:

- Placa de Oriented Strand Board (OSB), peso específico: $6,4 \text{ kN/m}^3$
- Lã de vidro $e=12\text{mm}$, peso específico: $0,12 \text{ kN/m}^3$
- Vermiculita expandida $e=50\text{mm}$, peso específico: $1,6 \text{ kN/m}^3$
- Placa cimentícia, peso específico: 17 kN/m^3

Na Tabela 2 apresentam-se as ações consideradas na análise estrutural:

Tabela 2: Ações consideradas na análise estrutural

	Carga Permanente
Laje de cobertura	<ul style="list-style-type: none"> • Placa de OSB com espessura de 14mm: $0,014 \times 6,4 = 0,0896 \text{ kN/m}^2$ • Placa de gesso com espessura de 12mm: $0,12 \text{ kN/m}^2$ • Lã de vidro com espessura de 50mm: $0,006 \text{ kN/m}^2$ • Manta asfáltica: $0,04 \text{ kN/m}^2$ • Vermiculita expandida com espessura de 50mm: $0,05 \times 1,6 = 0,08 \text{ kN/m}^2$ <p style="text-align: center;">Total: $0,3356 \text{ kN/m}^2 \times 0,4\text{m} = 0,13 \text{ kN/m}$</p>
Laje de piso	<ul style="list-style-type: none"> • Placa de OSB com espessura de 14mm: $0,014 \times 6,4 = 0,0896 \text{ kN/m}^2$ • Placa de gesso com espessura de 12mm: $0,12 \text{ kN/m}^2$ • Lã de vidro com espessura de 50mm: $0,006 \text{ kN/m}^2$ • Revestimento: $0,5 \text{ kN/m}^2$ <p style="text-align: center;">Total: $0,7156 \text{ kN/m}^2 \times 0,4\text{m} = 0,29 \text{ kN/m}$</p>

Vedações (paredes) externas	<ul style="list-style-type: none"> Placa cimentícia com espessura de 12mm: $0,012 \times 17 = 0,204$ kN/m² Placa de gesso com espessura de 12mm: 0,12 kN/m² Lã de vidro com espessura de 50mm: 0,006 kN/m² <p>Total: $0,33 \text{ kN/m}^2 \times 0,4\text{m} = 0,13 \text{ kN/m}$</p>
Vedações internas (paredes da cozinha e banheiro)	<ul style="list-style-type: none"> Placa cimentícia com espessura de 12mm: 0,204 kN/m² Revestimento de porcelanato: 0,3 kN/m² Placa de gesso ou cimentícia: 0,204 kN/m² Lã de vidro com espessura de 50mm: 0,006 kN/m² <p>Total: $0,714 \text{ kN/m}^2 \times 0,4\text{m} = 0,29 \text{ kN/m}$</p>

4.4.2 Ações variáveis

Para as coberturas comuns, a norma NBR 8800:2008 (ABNT, 2008), em seu anexo B, item B.5, especifica uma sobrecarga característica mínima de 0,25 kN/m². No projeto aplicou-se uma carga de 0,5 kN/m², como recomendado pelo Manual de construção em aço Steel Framing: engenharia (Rodrigues, 2016). Para a sobrecarga de piso foi adotado 1,5 kN/m².

4.4.3 Ação do vento na estrutura (NBR 6213:1988)

A ação do vento sobre a estrutura foi determinado segundo os procedimentos estabelecidos pela norma brasileira NBR 6213:1988 (ABNT, 1988).

- Velocidade básica do vento: para o projeto localizado na cidade de Foz do Iguaçu, Paraná, considera-se $V_0 = 50 \text{ m/s}$.
- Fator topográfico (S_1): a residência será construída em local de topografia pouco acidentada, portanto $S_1 = 1,0$.
- Fator de rugosidade do terreno (S_2): a residência será construída em uma área meramente residencial da cidade, onde a cota média do topo dos obstáculos é igual a 10 metros. Portanto, tem-se:

Categoria IV;

$H = 5,6\text{m}$

Classe A.

$S_2 = bF_r(z/10)^P = 0,86 \times 1,00 \times (5,6/10)^{0,12} = 0,80$. $S_2 = 0,80$.

- Fator estatístico (S_3): este fator está relacionado com a segurança da edificação, o projeto trata de uma residência, portanto, Grupo 2, $S_3 = 1,00$.
- Velocidade característica do vento (V_k):

$$V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \quad \rightarrow \quad \mathbf{V_k = 40,11 \text{ m/s.}}$$

- Pressão dinâmica do vento (q):

$$q = 0,613 (V_k)^2 \quad \rightarrow \quad \mathbf{q = 0,99 \text{ kN/m}^2}$$

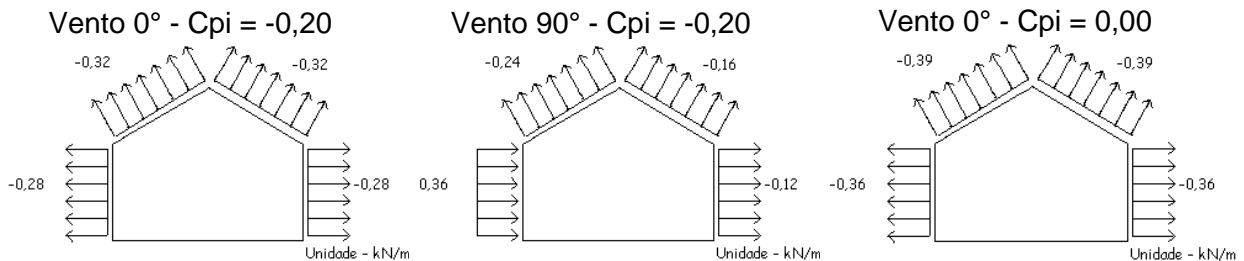


Figura 27 - Cargas de vento resultantes obtidos pelo programa Visualventos.

Por meio do programa Visualventos obtiveram-se as reações de vento introduzidas na análise estrutural, o programa fornece 4 conjuntos de reações. Em razão de dois dos resultados serem semelhantes considerou-se 3 carregamentos fornecidos.

4.5 Combinações das ações

Serão considerados os seguintes carregamentos básicos:

- C1 = Peso próprio do pórtico.
- C2 = Demais ações permanentes
- C3 = Sobrecarga na cobertura e na laje de piso.
- C4 = Vento 0° - Cpi = 0,00
- C5 = Vento 90° - Cpi = -0,20
- C6 = Vento Vento 0° - Cpi = -0,20

Estes carregamentos definidos devem ser combinados para a obtenção dos esforços e deslocamentos máximos da estrutura. De acordo com o item 6.7 da NBR 14.762 (ABNT, 2010), para o dimensionamento dos elementos estruturais, as combinações normais últimas são:

- Comb1= 1,25.C1+1,35.C2 + 1,5.C3 + 1,4.0,6.C6
- Comb2= 1,00.C1+1,00.C2 + 1,4.C4
- Comb3= 1,00.C1+1,00.C2 + 1,4.C5

Para a análise dos deslocamentos, foram adotadas as seguintes combinações de serviço, já que os elementos estruturais:

- $\text{Comb4} = 1,00.C1 + 1,00.C2 + 0,3.C3 + 0,3.C6$
- $\text{Comb5} = 1,00.C1 + 1,00.C2 + 0,4.C3$
- $\text{Comb6} = 1,00.C1 + 1,00.C2 + 0,3.C4$
- $\text{Comb7} = 1,00.C1 + 1,00.C2 + 0,3.C5$

5

ANÁLISE DA ESTRUTURA E MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO

Por meio da análise estrutural, obtém-se a avaliação de como a estrutura irá se comportar quando submetida aos carregamentos a que estará sujeita durante sua vida útil (JAVARONI, 2015). Os esforços de cálculo nas barras e os deslocamentos da estrutura foram obtidos através do programa computacional Robot Structural Analysis Professional 2015. A seguir apresenta-se o procedimento para a realização da análise estrutural.

5.1 ROBOT Structural Analysis RSA 2015

Este software permite a análise estrutural e a simulação de desempenho em situações correntes e também a manipulação e a visualização espacial do projeto antes da sua concretização. O ROBOT possui ferramentas próprias para a definição da estrutura o que permite a sua utilização de forma completamente isolada e independente. Além da criação do modelo e cálculo estrutural, permite a confrontação dos resultados e permite também a preparação da documentação da estrutura incluindo o projeto e os resultados. Na Figura 28 apresenta-se a tela inicial do software.

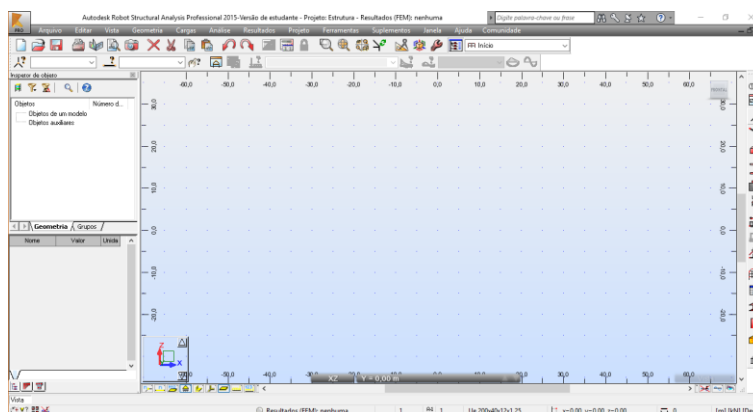


Figura 28 - Tela Inicial Robot Structural Analysis

O software possui uma biblioteca de perfis de aço extenso, porém os perfis de aço formados a frio utilizados para o sistema *Light Steel Frame* no Brasil, não estão disponíveis para serem selecionados. Por esta razão foram criados os perfis respeitando as propriedades geométricas fornecidas no Manual de Construção em Aço, Steel Framing: Engenharia.

Com o projeto arquitetônico adaptado para o sistema LSF, a estrutura é separada em pórticos, e os pórticos devem possuir perfis equidistantes de 400mm. Uma vez lançado o reticulado metálico no software, pode-se fornecer primeiramente as cargas atuantes e proceder as combinações conforme ilustrado na Figura 29.

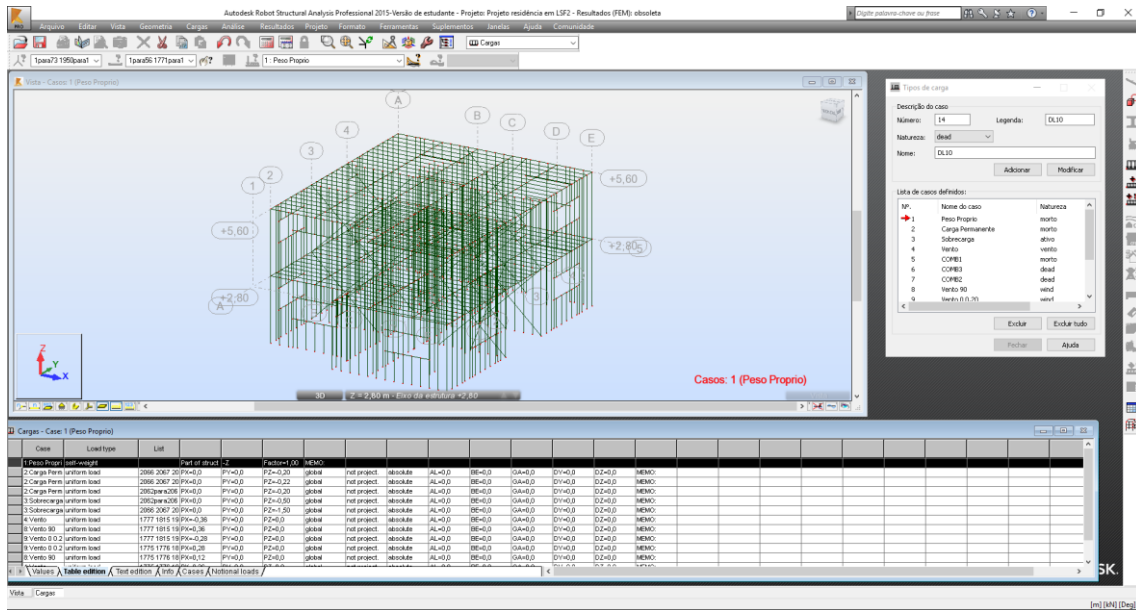


Figura 29 - Fornecimento de cargas atuantes na estrutura.

Antes de introduzir os carregamentos atuantes na estrutura devem ser estabelecidos os apoios correspondentes. No caso do sistema LSF, todas as barras são consideradas rotuladas em suas extremidades (Rodriguez, Caldas, 2016).

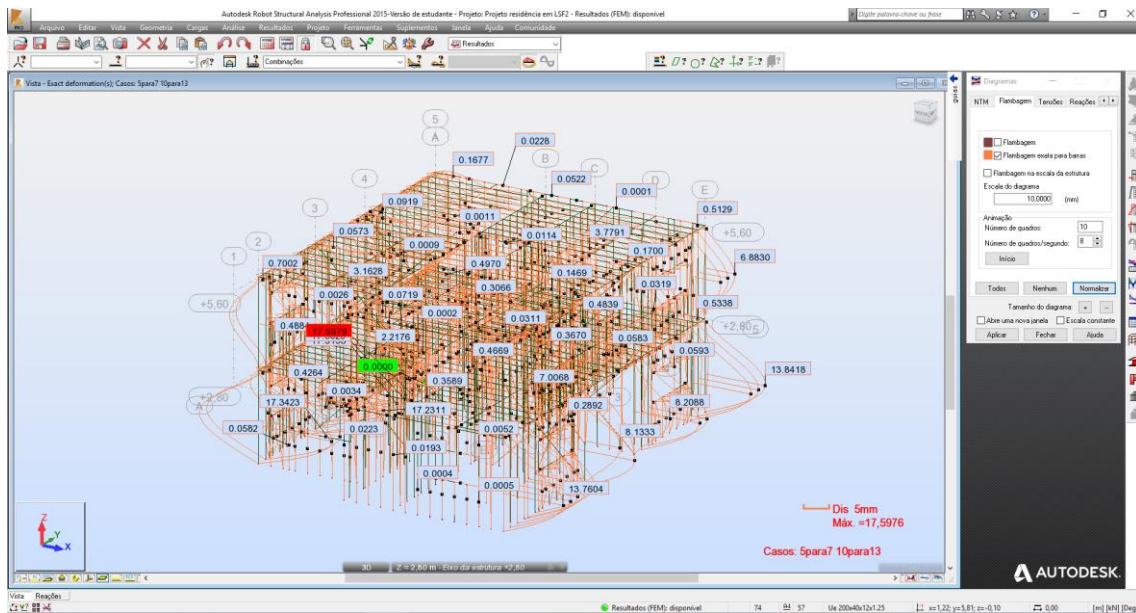


Figura 30 - Obtenção dos esforços solicitantes e deslocamentos.

Uma vez verificado os elementos estruturais, pode-se realizar a análise estrutural para a obtenção dos esforços solicitantes de cálculo e os deslocamentos máximos. Na Figura 30 ilustram-se esses resultados. Tendo os resultados, observam-se regiões onde os momentos ou deslocamentos são muito elevados, nos quais podem ser realizados alterações nos elementos estruturais, isto depende da experiência do projetista para optar pela melhor solução possível. Finalmente, terminada as alterações, realiza-se o cálculo para

a verificação da estabilidade dos membros da estrutura, segundo a norma escolhida nas configurações, como ilustrado na Figura 31.

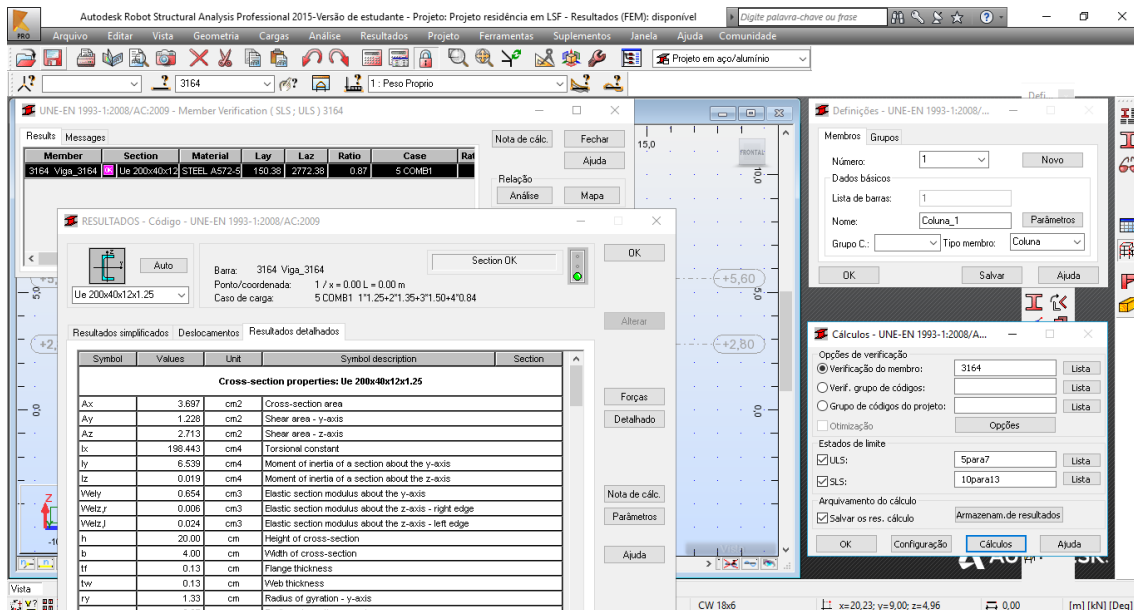


Figura 31 - Verificação da estabilidade segundo as normas pre-estabelecidas no software

5.2 Dimensionamento segundo a NBR 14762:2010

Os métodos para dimensionamento de perfis formados a frio estabelecido na Norma NBR 14762 são os seguintes:

Método da largura efetiva (MLE): consiste no método em que a flambagem local é considerada por meio de propriedades geométricas efetivas (reduzidas) da seção transversal das barras, oriundas do cálculo das larguras efetivas dos elementos totalmente ou parcialmente comprimidos. Deve-se também considerar a flambagem distorcional para barras submetidas à compressão e para barras submetidas à flexão;

Método da seção efetiva (MSE): consiste na metodologia em que a flambagem local é considerada por meio de propriedades geométricas efetivas (reduzidas) da seção transversal completa das barras, calculadas diretamente para barras submetidas à compressão e para barras submetidas à flexão. Deve-se também considerar a flambagem distorcional para barras submetidas à compressão e para barras submetidas à flexão;

Método da resistência direta (MRD): consiste na formulação com base nas propriedades geométricas da seção bruta e em análise geral de estabilidade elástica que permita identificar, para o caso em análise, todos os modos de flambagem e seus respectivos esforços críticos. Esse método pode ser empregado como alternativa para

cálculo da força axial de compressão resistente de cálculo, para cálculo do momento fletor resistente de cálculo e para cálculo dos deslocamentos.

Para o dimensionamento do presente trabalho foi utilizado o método da resistência direta, Segundo Javaroni (2015), o método tem se mostrado bastante eficiente no cálculo da resistência das barras comprimidas e fletidas.

5.3 Método da resistência direta

Neste procedimento assume-se que os modos de flambagem local e distorcional podem ser previstos utilizando-se as tensões de flambagem local elástica e as propriedades geométricas da seção transversal bruta da barra.

O programa CU-FSM da Universidade Cornell foi desenvolvido especificamente para a análise de perfis de aço formados a frio pelo método das faixas finitas, o programa encontra-se disponível no site da universidade com licença gratuita. O software fornece a tensão de flambagem elástica para perfis de aço formados a frio, biapoiado, sujeitos a qualquer distribuição de tensões em suas extremidades (JAVARONI, 2015).

O procedimento referente ao método da resistência direta, descrito pelo anexo G da norma brasileira vigente para o dimensionamento de perfis de aço formados a frio, NBR 14762 (ABNT,2010), é descrito a seguir.

Barras submetidas á compressão centrada

O valor característico da força axial de compressão resistente N_{c,R_k} deve ser tomado como o menor valor calculado para a flambagem global por flexão, torção ou flexo-torção (N_{c,R_e}), local (N_{c,R_l}), e distorcional ($N_{c,Rdist}$) e depois dividido pelo coeficiente de ponderação ($\gamma = 1,20$), conforme a equação abaixo.

$$N_{c,R_d} = \frac{\min(N_{c,R_e}, N_{c,R_l}, N_{c,Rdist})}{\gamma} \quad (5.1)$$

Flambagem global por Flexão, Torção ou Flexo-torção (N_{c,R_e})

$$N_{c,R_e} = (0,658\lambda_0^2)Af_y \quad \text{para } \lambda_0 \leq 1,5 \quad (5.2)$$

$$N_{c,R_e} = \left(\frac{0,877}{\lambda_0^2} \right) A f_y \quad \text{para } \lambda_0 > 1,5 \quad (5.3)$$

$$\lambda_0 = \left(\frac{A f_y}{N_e} \right)^{0,5} \quad (5.4)$$

Onde:

A	Área bruta da seção transversal da barra;
f_y	valor da resistencia ao escoamento do material,
N_e	Área efetiva da seção Força axial de flambagem local elástica, calculada por meio de análise de estabilidade elástica.
λ_0	Índice de esbeltez reduzido associado à flambagem global.

A força axial de flambagem elástica global N_e para a barra será o menor valor entre os obtidos para

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 E I_x}{(K_x L_x)^2} \quad (5.5)$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 E I_y}{(K_y L_y)^2} \quad (5.6)$$

$$N_{ez} = \frac{1}{r_0^2} \left(\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L_z)^2} + GJ \right) \quad (5.7)$$

As expressões de N_{ex} e N_{ey} são as forças axiais de flambagem global elástica por flexão em relação aos eixos x e y, respectivamente. A expressão N_{ez} representa a força axial de flambagem global elástica por torção.

Onde:

C_w	Constante de empenamento da seção
E	Módulo de elasticidade
G	Módulo de elasticidade transversal.
J	Constante de torção da seção.
$K_x L_x$	Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo x.
$K_y L_y$	Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo y.
$K_z L_z$	Comprimento efetivo de flambagem por torção.

Flambagem Local ($N_{c,RI}$)

$$N_{c,RI} = N_{c,Re} \quad \text{para } \lambda_l \leq 0,776 \quad (5.8)$$

$$N_{c,RI} = \left(1 - \frac{0,15}{\lambda_l^{0,8}}\right) \frac{N_{c,Re}}{\lambda_l^{0,8}} \quad \text{para } \lambda_l > 0,776 \quad (5.9)$$

$$\lambda_l = \left(\frac{N_{c,Re}}{N_l}\right)^{0,5} \quad (5.10)$$

λ_l	Índice de esbeltez reduzido associado à flambagem local.
N_l	Força axial de flambagem local elástica.

Flambagem Distorcional ($N_{c,Rdist}$):

$$N_{c,Rdist} = Af_y \quad \text{para } \lambda_{dist} \leq 0,561 \quad (5.11)$$

$$N_{c,Rdist} = \left(1 - \frac{0,25}{\lambda_{dist}^{1,2}}\right) \frac{Af_y}{\lambda_{dist}^{1,2}} \quad \text{para } \lambda_{dist} > 0,561 \quad (5.12)$$

$$\lambda_{dist} = \left(\frac{Af_y}{N_{dist}}\right)^{0,5} \quad (5.13)$$

λ_{dist}	Índice de esbeltez reduzido associado à flambagem distorcional
N_{dist}	Força axial de flambagem distorcional elástica

Barras submetidas á flexão simples

O valor característico do momento resistente M_{Rd} deve ser tomado como o menor valor calculado para a flambagem global (M_{Re}), local (M_{Rl}), e distorcional (M_{Rdist}) e depois dividido pelo coeficiente de ponderação ($\gamma = 1,10$), conforme a equação abaixo.

$$M_{Rd} = \frac{\min(M_{Re}, M_{Rl}, M_{Rdist})}{\gamma} \quad (5.14)$$

Flambagem lateral com torção (M_{Re})

$$M_{Re} = W f_y \quad \text{para } \lambda_0 \leq 0,6 \quad (5.15)$$

$$M_{Re} = 1,11(1 - 0,278\lambda_0^2)W f_y \quad \text{Para } 0,6 < \lambda_0 < 1,336 \quad (5.16)$$

$$M_{R_e} = \frac{Wf_y}{\lambda_0^2} \quad \text{Para } \lambda_0 \geq 1,336 \quad (5.17)$$

$$\lambda_0 = \left(\frac{W_c f_y}{M_e} \right)^{0,5} \quad (5.18)$$

W_c	Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra extrema comprimida.
M_e	Momento fletor de flambagem lateral com torção

Flambagem Distorcional da seção transversal (M_{Rd}):

O momento fletor resistente de cálculo para as barras com seção transversal aberta sujeitas à flambagem por distorção deve ser calculado pela seguinte expressão:

$$M_{Rdist} = Wf_y \quad \text{para } \lambda_{dist} \leq 0,673 \quad (5.19)$$

$$M_{Rdist} = \left(1 - \frac{0,22}{\lambda_{dist}} \right) \frac{Wf_y}{\lambda_{dist}} \quad \text{para } \lambda_{dist} > 0,673 \quad (5.20)$$

$$\lambda_{dist} = \left(\frac{Wf_y}{M_{dist}} \right)^{0,5} \quad (5.21)$$

W	Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra extrema que atinge o escoamento..
λ_{dist}	Índice de esbeltez reduzido referente à flambagem distorcional;
M_{dist}	Momento fletor de flambagem distorcional elástica.

Barras submetidas á força cortante

A força cortante resistente de cálculo V_{Rd} deve ser calculada por:

$$V_{Rd} = \frac{0,6f_y h t}{\gamma} \quad \text{para } \frac{h}{t} \leq 1,08 \left(\frac{E k_v}{f_y} \right)^{0,5} \quad (5.22)$$

$$V_{Rd} = \frac{0,65 t^2 (k_v f_y E)^{0,5}}{\gamma} \quad \text{para } 1,08 \left(\frac{E k_v}{f_y} \right)^{0,5} < \frac{h}{t} \leq 1,4 \left(\frac{E k_v}{f_y} \right)^{0,5} \quad (5.23)$$

$$V_{Rd} = \frac{0,905 E k_v t^3 / h}{\gamma} \quad \text{para } \frac{h}{t} > 1,4 \left(\frac{E k_v}{f_y} \right)^{0,5} \quad (5.24)$$

Onde:

γ	= 1,10 (coeficiente de ponderação da resistência)
k_v	= 5,00 para alma sem enrijecedores transversais
h	Largura da alma
t	Espessura da alma

Barras submetidas á flexão composta

Força normal e momento fletor combinados:

$$\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} + \frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \leq 1,0 \quad (5.25)$$

Onde:

N_{Sd}	Força axial solicitante de cálculo de tração ou de compressão.
----------	--

$M_{x,Sd}$ e $M_{y,Sd}$	Momentos fletores solicitantes de cálculo, na seção considerada, em relação aos eixos x e y, respectivamente.
N_{Rd}	Força axial resistente de cálculo de tração ou de compressão.
$M_{x,Rd}$ e $M_{y,Rd}$	Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos x e y.

Note-se que o valor de carga crítica N_{cr} ou M_{cr} é obtido por intermédio das relações a seguir:

$$N_{cr} = \phi N_y \quad (5.33)$$

$$N_y = A f_y \quad (5.34)$$

$$M_{cr} = \phi M_y \quad (5.35)$$

$$M_y = W f_y \quad (5.36)$$

Onde:

ϕ	Fator de tensão ou carga (obtido diretamente do CU-FSM)
--------	---

6 RESULTADOS

6.1 Cargas de flambagem elástica obtidas pelo software CU-FSM para o projeto do Capítulo 4

Na Tabela 3 e Tabela 4 apresentam-se os resultados fornecidos pelo software CU-FSM, procedimento explicado em anexo, para todos os perfis utilizados no projeto. Onde as unidades dos momentos fletores e das cargas axiais de compressão, são dadas em kNm, e kN respectivamente.

O programa fornece como resultado os fatores de cargas (em vermelho) que são utilizados para a obtenção dos esforços resistentes de cálculo por meio do método da resistência direta.

Tabela 3 - Cargas de Flambagem Elástica - Flexão simples.

Flexão Simples					
Perfis estruturais	Local			Distorcional	
	$M_{y,sd}$	$M_l/M_{y,sd}$	M_l	$M_{dist}/M_{y,sd}$	M_{dist}
Ue 200x40x12x1,25mm	4,84	0,92	4,45	1,15	5,57
Ue 140x40x12x0,95mm	2,24	1,03	2,31	1,26	2,82
Ue 90x40x12x0,95mm	1,24	1,87	2,32	1,65	2,05

Tabela 4 - Cargas de Flambagem Elástica - Compressão centrada.

Compressão centrada					
Perfis estruturais	Local			Distorcional	
	$N_{y,sd}$	$N_l/N_{y,sd}$	N_l	$N_{dist}/N_{y,sd}$	N_{dist}
Ue 200x40x12x1,25mm	89,75	0,18	16,16	0,27	24,23
Ue 140x40x12x0,95mm	71,50	0,19	13,59	0,43	30,75
Ue 90x40x12x0,95mm	43,00	0,44	18,92	0,95	40,85

6.2 Esforços e Deslocamentos obtidos

Os esforços e deslocamentos dos elementos estruturais obtidos segundo procedimentos descritos pela norma NBR 14762 (ABNT, 2010), a partir das combinações das ações, determinam-se esforços solicitantes que serão comparados com os valores de cálculo dos correspondentes esforços resistentes.

Segundo a norma NBR 14762 (ABNT, 2010), o objetivo da análise estrutural é determinar os efeitos das ações na estrutura, visando efetuar verificações de estados-limites últimos e de serviço. Na Tabela 5 apresentam-se os deslocamentos e esforços obtidos por meio da análise estrutural realizada no programa RSA, utilizando as combinações de ações estipuladas anteriormente.

Tabela 5 – Deslocamentos e esforços obtidos na análise estrutural.

	Normal (compressão)	Momento	Flecha máxima de serviço (YZ)
	$N_{c,Sd}$	M_{Sd}	$V_{yz, serv}$
Viga de Piso (Ue 200x40x12x1,25mm)	7,62kN	1,38kNm	15,11mm
Montante externo (Ue 140x40x12x0,95mm)	0,73kN	0,32kNm	2,18mm
Montante interno (Ue 140x40x12x0,95mm)	2,84kN	0,93kNm-	0,29mm
Viga de Cobertura (Ue 200x40x12x1,25mm)	0,75kN	0,18kNm	1,49mm

6.3 Carga máxima resistente

As cargas máximas resistentes foram obtidas por dois meios, pela análise realizada no software RSA seguindo a EN 1993-1 (CEN, 2005), e pelo método da resistência direta descrito na norma NBR 14762 (ABNT, 2010).

Por meio do método da resistência direta (MRD) o qual foi descrito no capítulo 5 foram obtidos os valores da carga máxima resistente, a seguir apresenta-se o cálculo para a viga de piso com perfil U enrijecido.

6.3.1 Viga de piso (Ue 200x40x12x1,25 mm) – Momento resistente obtido pelo método da resistência direta (MRD)

Propiedades do material

Aço ZAR 250

E= 200.000 MPa

G= 77.000 Mpa

($f_y = 250$ MPa; $f_u=360$ MPa)

Parâmetros referentes as condições de contorno

$K_x=1$

$K_y=0,5$

$K_z=0,5$

Propriedades geométricas da seção

$$\begin{aligned} L_x &:= 2000 \text{ mm} & x_{cg} &:= 0.85 \text{ cm} \\ a &:= 3.59 \text{ cm}^2 & x_0 &:= 2.24 \text{ cm} \\ I_x &:= 193.57 \text{ cm}^4 & y_0 &:= 0 \text{ cm} \\ I_y &:= 6.36 \text{ cm}^4 & C_w &:= 511.10 \text{ cm}^6 \\ j_{It} &:= 0.0176 \text{ cm}^4 & W_x &:= 19.36 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Cálculo da força axial de flambagem global elástica (conforme item 9.7.2.2 da NBR 14762:2010)

Força axial de flambagem global elástica por flexão em relação ao eixo x:

$$N_{ex} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(K_x L_x)^2} \quad N_{ex} = 955.23 \text{ kN}$$

Força axial de flambagem global elástica por flexão em relação ao eixo y:

$$N_{ey} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y L_y)^2} \quad N_{ey} = 125.54 \text{ kN}$$

Força axial de flambagem global elástica por torção:

$$N_{ez} := \left[\frac{1}{r_0^2} \cdot \left[\frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_z L_z)^2} + G_s \cdot j_{It} \right] \right] \quad N_{ez} = 168.42 \text{ kN}$$

Força axial de flambagem global elástica por flexo-torção:

$$N_{exz} := \frac{N_{ex} + N_{ez}}{2 \left[1 - \left(\frac{x_0}{r_0} \right)^2 \right]} \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot N_{ex} \cdot N_{ez} \cdot \left[1 - \left(\frac{x_0}{r_0} \right)^2 \right]}{(N_{ex} + N_{ez})^2}} \right] \quad N_{exz} = 165.55 \text{ kN}$$

A força axial de flambagem é o menor valor entre a força em relação a y e pela flexo-torção, obteve-se o seguinte valor:

$$N_e := \min(N_{ey}, N_{exz})$$

$$N_e = 125,541 \text{ kN}$$

Carga para inicio da plastificação da seção

$$P_y := a \cdot f_y$$

$$P_y = 89,75 \text{ kN}$$

Determinação da força normal de compressão resistente nominal para flambagem por flexão, por torção ou por flexo-torção.

$$\lambda_0 := \sqrt{\frac{a \cdot f_y}{N_e}}$$

$$\lambda_0 = 0,846$$

$$N_{cre} := \begin{cases} \left[\left(0.658 \lambda_0^2 \right) \cdot a \cdot f_y \right] & \text{if } \lambda_0 \leq 1.5 \\ \left[\left(\frac{0.877}{\lambda_0^2} \right) \cdot a \cdot f_y \right] & \text{if } \lambda_0 > 1.5 \end{cases}$$

$$N_{cre} = 66,54 \text{ kN}$$

Determinação da força normal de compressão resistente nominal para flambagem local:

$$\lambda_1 := \sqrt{\frac{N_{cre}}{N_l}}$$

$$\lambda_1 = 3,209$$

$$N_{cr1} := \begin{cases} N_{cre} & \text{if } \lambda_1 \leq 0.776 \\ \left[\left(1 - \frac{0.15}{\lambda_1^{0.8}} \right) \cdot \frac{N_{cre}}{\lambda_1^{0.8}} \right] & \text{if } \lambda_1 > 0.776 \end{cases}$$

$$N_{cr1} = 24,636 \text{ kN}$$

Determinação da força normal de compressão resistente nominal para flambagem distorcional:

$$\lambda_{dist} := \sqrt{\frac{a \cdot f_y}{N_{dist}}}$$

$$\lambda_{dist} = 3,043$$

$$N_{crdist} := \begin{cases} a \cdot f_y & \text{if } \lambda_{dist} \leq 0.561 \\ \left[\left(1 - \frac{0.25}{\lambda_{dist}^{1.2}} \right) \cdot \frac{a \cdot f_y}{\lambda_{dist}^{1.2}} \right] & \text{if } \lambda_{dist} > 0.561 \end{cases}$$

$$N_{crdist} = 22,057 \text{ kN}$$

Valor da força normal de compressão resistente de cálculo:

$$N_{crk} := \min(N_{crdist}, N_{cr1}, N_{cre})$$

$$N_{crk} = 22,057 \text{ kN}$$

$$N_{crd} := \frac{N_{crk}}{\gamma}; \gamma := 1.2$$

$$N_{crd} = 18,381 \text{ kN}$$

Barra submetida a flexão simples

Determinação do momento fletor resistente nominal para flambagem por flexão, por torção ou por flexo-torção.

$$\lambda_{01} := \sqrt{\frac{W_x \cdot f_y}{M_e}} \quad \lambda_{01}=0,654$$

$$M_{re} := \begin{cases} \left[1.11 \cdot (1 - 0.278 \lambda_{01}^2) \right] \cdot (W_x \cdot f_y) & \text{if } (0.6 < \lambda_{01} \leq 1.336) \\ W_x \cdot f_y & \text{if } \lambda_{01} \leq 0.6 \\ W_x \cdot f_y \cdot \frac{1}{\lambda_{01}^2} & \text{if } \lambda_{01} \geq 1.336 \end{cases} \quad M_{re}=4,734 \text{ kNm}$$

Determinação do momento fletor resistente nominal para flambagem local:

$$\lambda_{l2} := \sqrt{\frac{M_{re}}{M_l}} \quad \lambda_{l2}=1,63$$

$$M_{rl} := \begin{cases} M_{re} & \text{if } (\lambda_{l2} \leq 0.776) \\ \left[\left(1 - \frac{0.15}{\lambda_{l2}^{0.8}} \right) \cdot \frac{M_{re}}{\lambda_{l2}^{0.8}} \right] & \text{if } \lambda_{l2} > 0.776 \end{cases} \quad M_{rl}=2,877 \text{ kNm}$$

Determinação do momento fletor resistente nominal para flambagem distorcional:

$$\lambda_{dist2} := \sqrt{\frac{W_c \cdot f_y}{M_{dist2}}} \quad \lambda_{dist2}=1,474$$

$$M_{rdist2} := \begin{cases} W_c \cdot f_y & \text{if } (\lambda_{dist2} \leq 0.673) \\ \left[\left(1 - \frac{0.22}{\lambda_{dist2}} \right) \cdot \frac{W_c \cdot f_y}{\lambda_{dist2}} \right] & \text{if } \lambda_{dist2} > 0.673 \end{cases} \quad M_{rdist2}=2,79 \text{ kNm}$$

Valor do momento fletor resistente de cálculo:

$$M_{rk} := \min(M_{rdist2}, M_{rl}, M_{re}) \quad M_{rk}=2,792 \text{ kNm}$$

$$M_{rd} := \frac{M_{rk}}{\gamma_2}; \quad \gamma_2 := 1.1 \quad M_{rd}=2,539 \text{ kNm}$$

A viga de piso escolhido para análise encontra-se no piso da suíte de maior tamanho, apresenta um vão livre da estrutura (L=2000mm). Devido as ações de cargas combinadas, agindo simultaneamente. Esta viga foi verificada segundo critérios de flexão composta, como segue abaixo.

- Força axial compressiva e Flexão combinados

$$\frac{N_{csd}}{N_{crd}} + \frac{M_{xsd}}{M_{rd}} = 0.42$$

$$\left(\frac{7,62}{18,381}\right) + \left(\frac{1,38}{2,539}\right) = 0,42 \leq 1,00 \quad (\text{Verificado})$$

Onde as forças axiais compressivas são devidas as ações das cargas de vento.

Para a satisfazer as recomendações normativas, o perfil deve atender também os critérios de deslocamento. Onde o deslocamento máximo, deve ser obtido a partir das solicitações decorrentes do E.L.S (v_{serv}), e devem ser menores que os deslocamentos obtidos a partir da seguinte equação:

$$v_{serv} \leq \frac{L}{350}$$

$$v_{m\acute{a}x} = 3,90mm \leq \frac{L}{350} = \frac{2000}{350} = 5,71mm \quad (\text{Verificado})$$

Sendo: v_{serv} é o deslocamento máximo permitido para o componente.

L é o vão livre do componente.

Neste caso, como o momento de inércia (I_{ef}) é igual ao momento da seção bruta (I_g), podemos então considerar o deslocamento obtido na análise estrutural.

Tabela 6 - Cargas máximas resistentes

Elementos estruturais	Compressão centrada (kN)				Flexão simples (kNm)			
	$N_{c,Re}$	$N_{c,l}$	$N_{c,Rdist}$	$N_{c,Rd}$	M_{Re}	M_{Rl}	M_{Rdist}	M_{Rd}
Vigas de Piso e cobertura (Ue 200x40x12x1,25)	66,5	24,6	22,1	18,38	4,73	2,88	2,79	2,54
Montantes externo e interno (Ue 140x40x12x0,95)	41,1	17,1	21,9	14,22	2,39	1,61	1,67	1,47

Foi feito a análise estrutural por meio da modelagem da estrutura no Robot Structural Analysis (RSA), no qual obteve-se os esforços solicitantes e como também resistentes os quais são apresentados na Tabela 6, obteve-se valores muito próximos, o software RSA não possui a norma NBR 14762 customizada na sua biblioteca de códigos e normas para ser utilizada, então optou-se pela utilização da Norma Europeia EN 1993-1:2005. Na Tabela 7 apresentam-se as comparações entre os esforços resistentes obtidos empregando-se o método da resistência direta e os resultados do software ROBOT.

Tabela 7 - Comparação cargas resistentes obtidas pelo MRD e RSA

Elementos estruturais	Compressão centrada (kN)		Flexão simples (kNm)	
	$N_{c,Rd}$		M_{Rd}	
	MRD	RSA	MRD	RSA
Vigas de Piso e cobertura (Ue 200x40x12x1,25)	18,38	18,08	2,54	5,64
Montantes externo e interno (Ue 140x40x12x0,95)	14,22	13,94	1,47	2,50

Por questão de simplificação, foram somente verificados os perfis mais solicitados de cada tipo de elemento utilizado na estrutura. De maneira analoga, estará se verificando todos os outros perfis indiretamente, devido à similaridade entre componentes.

6.3.2 Montantes (Pilares) externos (Ue 140x40x12x0,95 mm)

Segundo o manual Steel Framing: Engenharia (Rodrigues, 2006), os montantes (Pilares) externos da estrutura, por se tratarem de vigas-colunas, devem ser verificados segundo o critério de flexo-compressão (Compressão e flexão combinado).

- Força axial compressiva e momento fletor combinados (flexo-compressão)

$$\left(\frac{0,73}{14,22}\right) + \left(\frac{0,32}{1,47}\right) = 0,27 \leq 1,0 \quad (\text{Verificado})$$

Onde as forças axiais compressivas são devidas as ações das cargas de vento.

Para a aprovação, o perfil deve atender também, além dos critérios de resistência, os critérios de deslocamento. Onde o deslocamento máximo, deve ser obtido a partir das solicitações decorrentes do E.L.S (v_{serv}), e devem ser menores que os deslocamentos obtidos a partir da seguinte equação:

$$v_{serv} \leq \frac{L}{400}$$

$$v_{m\acute{a}x} = 2,18 \text{ mm} \leq \frac{L}{400} = \frac{2800}{400} = 7,0 \text{ mm} \quad (\text{Verificado})$$

Sendo: v_{serv} é o deslocamento máximo permitido para o componente.

L é o vão livre do componente.

6.3.3 Montantes (Pilares) internos (Ue 140x40x12x0,95 mm)

Segundo o manual Steel Framing: Engenharia (Rodrigues, 2006), os montantes (Pilares) internos da estrutura deve ser verificado segundo o critério de compressão ou tração agindo isoladamente. Neste trabalho, fez-se a verificação destes perfis segundo o critério de compressão, pois, neste caso, é o mais crítico.

- Força axial compressiva

$$N_{c,Rd} \geq N_{c,Sd}$$

$$N_{c,Rd} = 14,219kN > N_{c,Sd} = 2,84 kN \quad (\text{Verificado})$$

Onde: $N_{c,Rd}$ é a carga de resistência máxima a compressão do componente;

$N_{c,Sd}$ é a carga compressiva máxima, obtida na análise estrutural.

6.3.4 Viga de cobertura (Ue 200x40x12x1,25 mm)

A viga de telhado a analisada, encontra-se situado na cobertura da residência. Por possuir o maior vão livre ($L=2000$ mm), este telhado esta sujeito as maiores solicitações por esforços de flexão. Por este motivo, fez-se a verificação deste componente segundo o critério de flexão simples, conforme segue abaixo.

- Força axial compressiva e flexão combinados

$$\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} + \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \leq 1,0$$

$$\left(\frac{0,75}{18,38}\right) + \left(\frac{0,18}{2,539}\right) = 0,11 \leq 1.0 \quad (\text{Aprovado})$$

Verificou-se também a flecha máxima possível para o componente, conforme descreve a seguinte abaixo.

$$v_{serv} \leq \frac{L}{250}$$

$$v_{máx} = 1,49mm \leq \frac{L}{250} = \frac{2000}{250} = 8,00mm \quad (\text{Verificado})$$

Sendo: v_{serv} é o deslocamento máximo permitido para o componente.

L é o vão livre do componente.

Sobre a verificação deste tipo de componente, é importante citar que a carga máxima de momento, geralmente encontra-se próximos aos apoios, e que, segundo instruções construtivas, contidas no manual Steel Framing: Engenharia (Rodrigues, 2006), esta região deve ser reforçada.

No anexo 2 serão apresentados as verificações dos elementos estruturais realizados após simulação com o software RSA.

A seguir apresentam-se as principais conclusões obtidas após a utilização das ferramentas de cálculo e dimensionamento dos elementos estruturais que compõem o sistema LSF.

7

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo principal do presente trabalho foi atendido após se proceder a modelagem e dimensionamento de uma residência empregando o sistema *Light Steel Frame*, respeitando-se as recomendações da NBR 14762:2010.

O sistema é consolidado em países tais como: Austrália, Reino Unido e Estados Unidos e cada vez sendo mais estudado e compatibilizado para o Brasil. O estudo foi realizado pelo interesse a novos sistemas de construção mais eficientes tanto na diminuição de desperdícios na obra como a diminuição do tempo de construção.

O trabalho apresentou as etapas de verificação das cargas críticas de flambagem dos elementos estruturais mais solicitados. Para realização de futuros trabalhos recomenda-se a consideração do dimensionamento das ligações entre os elementos estruturais, procedimento também contemplado pela norma NBR 14762 (ABNT, 2010) e também disponibilizado nos softwares de dimensionamento.

A utilização do software para a realização da modelagem é uma ferramenta excelente para a obtenção das solicitações e verificação das cargas críticas de flambagem, visto que os projetos para estruturas em LSF possuem muito mais detalhes em comparação a sistemas tradicionais (alvenaria) e os projetistas devem utilizar os softwares mais atualizados para fornecer projetos em menor tempo e com maior segurança, destacando-se sempre a utilização conciente das ferramentas de cálculo.

A realização de um projeto para uma residência no sistema LSF, consome mais tempo do projetista em comparação a os sistema tradicionais, por causa da necessidade de detalhamento completos e a impossibilidade de reajustes na obra, prática comum em sistemas tradicionais. Este maior tempo na realização do projeto tem como resultado construções mais rápidas e muito menor desperdício de materiais.

Cabe salientar, que a utilização das placas de OSB, gesso e cimentícias, ao serem instaladas aumentam a segurança da estrutura, por atuarem com o efeito de diafragma rígido na estrutura. Também a instalação de bloqueadores nas regiões mais solicitadas, aumenta a rigidez dos elementos estruturais.

A fim de contribuir para a sociedade acadêmica com informações acerca do sistema LSF, propõe-se os seguintes tópicos para desenvolvimento de trabalhos futuros:

- Modelagem estrutural das ligações dos perfis de uma estrutura em LSF.

- Modelagem estrutural tendo em conta bloqueadores.
- A consideração dos painéis diafragma na modelagem da estrutura
- Estudo de viabilidade econômica regional para a aplicação do sistema LSF em diferentes estados brasileiros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

_____. (ABNT). **NBR 6123:1988** – Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.

_____. (ABNT). **NBR 6355:2012** – Perfis estruturais de aço formados a frio – Padronização. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

_____. (ABNT). **NBR 8800:2008** – Projeto e execução de estruturas de aço em edifícios – Método dos Estados Limites. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

_____. (ABNT). **NBR 14762:2010** – Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

BRASIL. **Ministerio das Cidades – Sistema Nacional de Avaliacoes Tecnicas – SINAT (2010) revisao 2**. Diretriz SINAT 003: Sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço zincado conformados a frio, com fechamentos em chapas delgadas (Sistemas leves tipo “*Lighth Steel Framing*”). Brasília, Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat. 2016.

BRASILIT. **Guia de sistemas para produtos planos – placas, painéis e acessórios para construção industrializada**. São Paulo, 2011. Disponível em <<http://www.brasilit.com.br/pdf/guia-de-sistemas-para-produtos-planos-brasilit.pdf>> Acesso em: 18 Nov. 2015.

CAMPOS, P. F. **Light Steel Framing: uso em construções habitacionais empregando a modelagem virtual como processo de projeto e planejamento**. 2014. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. Disponível em <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-11072014-155539/>>. Acesso em: 20 Ago. 2015.

CENTRO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO EM AÇO (CBCA). **Cenário dos fabricantes de Perfis Galvanizados para Light Steel Frame & Drywall**, Rio de Janeiro: CBCA, 2016. Disponível em <<https://www.cbca-acobrasil.org.br/site/publicacoes-cenario-fabricantes-perfis-galvanizados.php/>>. Acesso em: 05 Out. 2016.

COMITÉ EUROPEU DE NORMALIZAÇÃO (CEN). **EN 1993-1** – Eurocódigo 3 – Projecto de estruturas de aço. Caparica: CEN, 2005.

CONSULSTEEL. **Construcción con acero liviano: Manual de procedimiento**. 2008. Buenos Aires, Argentina. Disponível em <[http://www.latu.org.uy/docs/licitacion29515/Manual de Procedimiento - _Consul_Steel.pdf](http://www.latu.org.uy/docs/licitacion29515/Manual_de_Procedimiento_-_Consul_Steel.pdf)>. Acesso em 15 de Set. 2015.

CRASTO, R. C. **Arquitetura e Tecnologia em sistemas construtivos industrializados: Light Steel Framing**. 2005. Dissertação de mestrado – Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas na Universidade Federal de Ouro Preto, 2005. Disponível em <<http://www.propec.ufop.br/upload/tese95.zip>>. Acesso em: 16 Set. 2015.

CRASTO R.C.M.; FREITAS S., A. M.; SANTIAGO, A. K; **Steel Framing: Arquitetura**. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil/CBCA, 2012.

GOMES, C. E. M.; VIVAN, A. L.; SICHIERI, E. P.; PALIARI, J. C. **Light Steel Frame na produção de moradias no Brasil**. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013. Disponível em <https://www.researchgate.net/publication/274565223_LIGHT_STEEL_FRAME_NA_PRODUO_D_E_MORADIAS_NO_BRASIL>. Acesso em: 22 Set. 2015.

JAVARONI, C. E. **Estruturas de aço: dimensionamento de perfis formados a frio**. 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

LIMA, R. F. D. L. **Técnicas, métodos e processos de projeto e construção do sistema construtivo Light Steel Frame**. Dissertação de Mestrado. Programa de pós-graduação em construção civil. Escola de engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2013.

LSK. **European Light Steel Construction Association**. *European Lightweight Steel Framed Construction*. Bélgica, 2005. Disponível em <http://www.szs.ch/user_content/editor/files/Downloads_Statik/european%20lightweight%20steel-framed%20construction.pdf>. Acesso em: 05 Out. 2016.

MEDEIROS, H. **Steel Framing: Setor aponta vantagens e busca capacitação**. *FINESTRA*, São Paulo. 01 Set. 2009. Disponível em:<<https://arcoweb.com.br/finestra/tecnologia/steel-framing-boas-respostas-01-09-2009#>>. Acesso em: 15 Nov. 2015.

NATIONAL ASSOCIATION OF HOME BUILDERS (NAHB). **Low rise residential construction**. Washington D.C, 2000.

PIRES, J. M. F. D. S. **O método prescritivo na construção de moradias em aço leve**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil, Arquitetura e Georrecursos Instituto Superior Técnico de Lisboa Lisboa. 2013.

RODRIGUES, F. C. **Steel Framing: Engenharia**. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2006.

RODRIGUES, F. C, CALDAS, R.B. **Steel Framing: Engenharia**. Rio de Janeiro: Aço Brasil/CBCA, 2016.

SILVA, E. L.; PIERIN I; PIGNATTA V. **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**. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil / CBCA, 2014.

SILVA, E. L. **Sobre o dimensionamento de perfis de aço formados a frio**. 2006. Dissertação de mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. Disponível em <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3144/tde-15092006-174951/publico/EdsonLubasSilva.pdf>>. Acesso em: 09 Set. 2015.

STEEL FRAMING ALLIANCE. **A builders guide to steel frame construction**. Washington: SFA, 2007.

VITOR, Rodrigo Oliveira. **Modelagem numérica de diagonais equivalentes para painéis *shear wall* do sistema *Light Steel Framing***. Dissertação de mestrado do programa de pós graduação em engenharia de estruturas. Universidade Federal de Minas Gerais, 2012.

VIVAN, A. L.; PALIARI, J. C.; NOVAES, C. C. **Vantagem produtiva do sistema *Light Steel Framing*: da construção enxuta à racionalização construtiva**. In: XIII Encontro Nacional De Tecnologia Do Ambiente Construido, Canela, RS, outubro 2010. Disponível em < http://www.researchgate.net/publication/274384648_VANTAGEM_PRODUTIVA_DO_SIS_TEMA_LIGHT_STEEL_FRAMING_DA_CONSTRUO_ENXUTA__RACIONALIZAO_CONSTRUTIVA>. Acesso em: 15 Set 2015.

WASTE AND RESOURCES ACTION PROGRAMME (WRAP), **Waste reduction potential of *Light Steel Frame* Construction**, Banbury, Oxon, Reino Unido, 2007. Disponível em < <http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Light%20Steel%20Frame%20-%20Full%20case%20study.pdf>>. Acesso em: 30 Set 2016.

ANEXO 1

Neste anexo apresentam-se os softwares Visualventos e CUFSM utilizados para o cálculo das cargas de vento e os fatores de carga para flambagem, respectivamente.

Visualventos

O Visualventos é um software livre oferecido pela Etools com parceria com a Universidade Federal de Passo Fundo, a CBCA e a CNPQ. O objetivo do programa é a determinação de forças devidas ao vento em edifícios industriais e residenciais, possui uma tela inicial amigável para fornecer os dados da edificação e defini-se os fatores e assim obter a velocidade característica do vento e seguidamente as forças devidas ao vento que atuaram na estrutura em estudo.

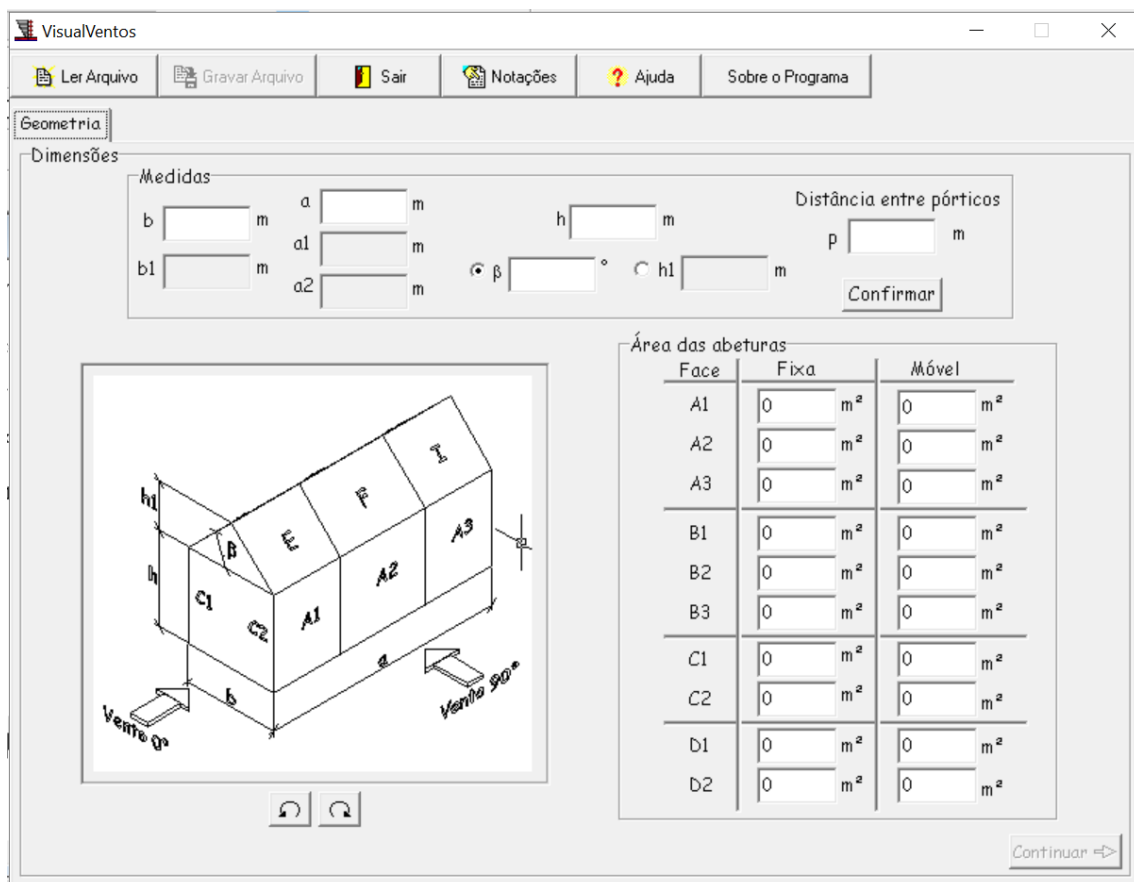


Figura 32 - Tela inicial do software Visualventos

CU-FSM

Primeiramente deve ser feita a entrada do tipo de material, as coordenadas dos nós e a espessura. Logo a seguir é feito o cálculo das propriedades da seção e o momento a ser aplicado no perfil. E na seguinte janela obtemos o comprimento de onda e o fator de carga correspondente ao modo local e ao modo distorcional, visualizando os pontos de mínimo do gráfico criado.

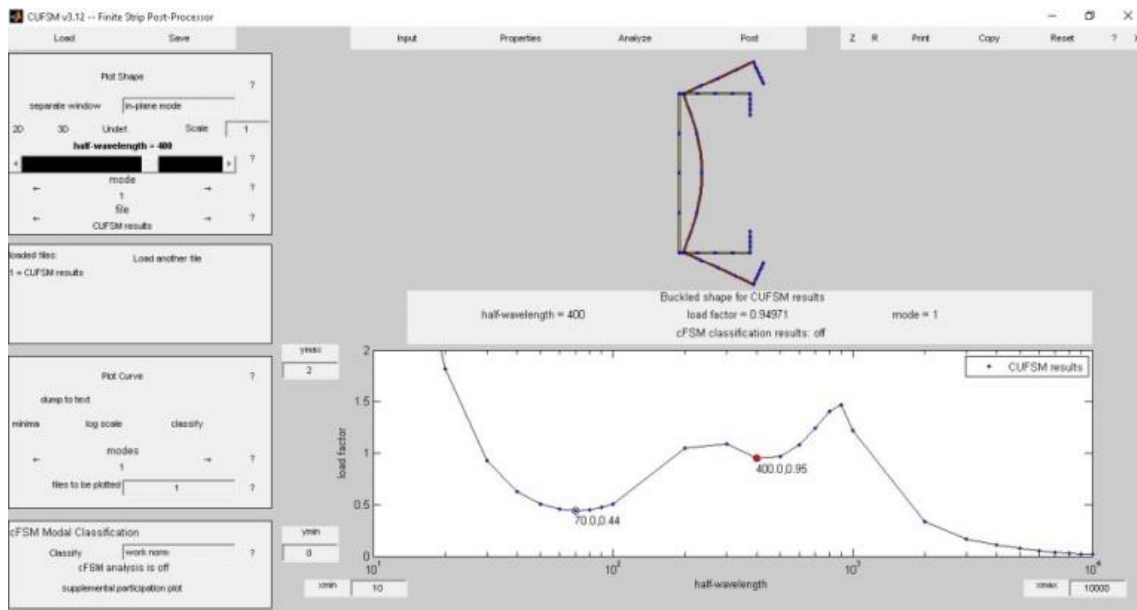


Figura 33 - Comprimento de semi onda e fator local correspondente ao modo distorcional.

ANEXO 2

Neste anexo apresenta-se o relatório de dimensionamento obtido com o software ROBOT Structural Analysis.

Symbol	Values	Unit	Symbol description	Section
Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2015				
Author:			File: Projeto residência em LSF.rtd	
Address:			Project: Projeto residência em LSF	
MEMBER: 3130 Viga_3130 ; COORDINATE: x = 1.00 L = 2.00 m				
Cross-section properties: Ue 200x40x12x1.25				
Ax	3.697	cm ²	Cross-section area	
Ay	1.228	cm ²	Shear area - y-axis	
Az	2.713	cm ²	Shear area - z-axis	
Ix	198.443	cm ⁴	Torsional constant	
Iy	6.539	cm ⁴	Moment of Inertia of a section about the y-axis	
Iz	0.019	cm ⁴	Moment of Inertia of a section about the z-axis	
Wely	0.654	cm ³	Elastic section modulus about the y-axis	
Welz,r	0.006	cm ³	Elastic section modulus about the z-axis - right edge	
Welz,l	0.024	cm ³	Elastic section modulus about the z-axis - left edge	
h	20.00	cm	Height of cross-section	
b	4.00	cm	Width of cross-section	
t	0.13	cm	Flange thickness	
tw	0.13	cm	Web thickness	
ry	1.33	cm	Radius of gyration - y-axis	
rz	0.07	cm	Radius of gyration - z-axis	
Anb	1.00		Net area to gross area ratio	(6.2.2.2)
Eta	1.00		Factor for Av calculation	(6.2.6.(3))
Material:				
Name	AÇO			
fy	25.50	kN/cm ²	Design yield strength of material	(3.2)
f _u	25.50	kN/cm ²	Limit tensile stress - characteristic value	(3.2)
γ _{M0}	1.00		Partial safety factor	(6.1.(1))
γ _{M1}	1.00		Partial safety factor	(6.1.(1))
γ _{M2}	1.25		Partial safety factor	(6.1.(1))
Designations of additional codes:				
EN112	EN 1991-1-2:2003 - Fire loads on a structure			
EN312	EN 1993-1-2:2005 - Steel structures - fire design			
EN313	EN 1993-1-3:2005 - Steel structures from cold-formed sections			
EN315	EN 1993-1-5:2005 - Steel structures - plated elements			
EC111	ECCS No111:2001 - Guidebook with recommendations for fire			
ENV311	ENV 1993-1-1:1992 - Steel structures - general code			
Class of section				
b	3.88	cm	flange width	(Table 5.2)
t	0.13	cm	flange thickness	(Table 5.2)
b/t	31.00		Flange slenderness	(Table 5.2)
KLF	4		Flange class	(5.5.2)
hw	19.75	cm	Web height	(Table 5.2)
tw	0.13	cm	Web thickness	(Table 5.2)
hw/tw	158.00		Web slenderness	(Table 5.2)
KLW	4		Web class	(5.5.2)

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2015

Author:

Address:

File: Projeto residência em LSF.rtd

Project: Projeto residência em LSF

Symbol	Values	Unit	Symbol description	Section
hw/tw/l _{lim}	69.12		Limit slenderness of a web for shear	EN315(5.1)
hw/tw	158.00		web slenderness for shear	EN315(5.1)
KLSZ	Slender		Classe da alma (cisalhamento)	EN315(5.1)
KL	4		Section type	(5.5.2)
Effective section parameters				
W _{eff,y}	-2.544	cm ³	Effective capacity coefficient W _{effy} for a cross section	(6.2.3.5)
W _{eff,z}	0.006	cm ³	Effective capacity coefficient W _{effz} for a cross section	(6.2.3.5)
Parameters of lateral-torsional buckling analysis:				
Detailed method [6.3.2.3]				
L _{cr,upp}	2.00	m	Lateral buckling length of upper flange	inactive
L _{cr,low}	2.00	m	Lateral buckling length of lower flange	active
C1	1.13		Factor for M _{cr} calculations	ENV311(F.1.2.(1))
C2	0.46		Factor for M _{cr} calculations	ENV311(F.1.2.(1))
C3	0.53		Factor for M _{cr} calculations	ENV311(F.1.2.(1))
w	8430.45	cm ⁶	Warping constant	(6.3.2.2)
z _g	10.00	cm	Distance from the point where the load is applied to the shear center	ENV311(F.1.2.(1))
M _{cr}	4.58	kN*m	Critical moment for lateral-torsional buckling	ENV311(F.1)
α _c	0.94		correction factor determined by loading method	(6.3.2.3.(2))
λ _{rel,LT}	-1.#J		Non-dimens. slend. ratio for lat.-tors. buckling	(6.3.2.3.(1))
λ _{rel,LTO}	0.40		slenderness ratio	(6.3.2.3.(1))
Curve,LT	d		Lateral buckling curve	(6.3.2.3.(1))
α _{LT}	0.76		Imperfection factor for lateral buckling curves	(Table 6.3)
η _{LT}	-1.#J		Coefficient for calculation of XLT	(6.3.2.3.(1))
β _{LT}	0.75		Coefficient for calculation of XLT	(6.3.2.3.(1))
k _{LT}	-1.#J		Reduction factor for lateral-torsional buckling	(6.3.2.3.(1))
k _{LT,mod}	-1.#J		reduction coefficient for calculation of XLT _{mod}	(6.3.2.3.(2))
k _{LT,mod}	-1.#J		modified lateral buckling coefficient	(6.3.2.3.(2))
Internal forces at characteristic points of cross section				
T _{t,Ed}	-0.00	kN*m	torsional moment	
M _{y,Ed}	-0.33	kN*m	bending moment M _{y,Ed}	
M _{z,Ed}	-0.00	kN*m	bending moment M _{z,Ed}	
V _{y,Ed}	0.00	kN	shear force V _{y,Ed}	
V _{z,Ed}	-1.02	kN	shear force V _{z,Ed}	
Stresses at characteristic points of cross-section:				
σ _{g,x,Ed}	13.82	kN/cm ²	maximum normal stress in a section	(6.2.1)
σ _{My,x,Ed}	2.84	kN/cm ²	Normal stress in the upper edge from M _y	(6.2.5)
σ _{My2,x,Ed}	-13.74	kN/cm ²	Normal stress in the bottom edge from M _y	(6.2.5)
σ _{Mz,x,Ed}	0.33	kN/cm ²	Normal stress in the right edge from M _z	(6.2.5)
σ _{Mz2,x,Ed}	-0.08	kN/cm ²	Normal stress in the left edge from M _z	(6.2.5)
τ _{au,y,Ed}	0.00	kN/cm ²	Tangent stress about y axis	(6.2.6)
τ _{au,z,Ed}	-0.38	kN/cm ²	Tangent stress about z axis	(6.2.6)
τ _{au,ty,Ed}	0.00	kN/cm ²	shear stress due to torsional moment T _{t,Ed}	(6.2.7)
τ _{au,tz,Ed}	0.00	kN/cm ²	shear stress due to torsional moment T _{t,Ed}	(6.2.7)

Date : 28/11/16

Page : 2

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2015
 Author: File: Projeto residência em LSF.rtd
 Address: Project: Projeto residência em LSF

Symbol	Values	Unit	Symbol description	Section
Design forces:				
Mb,Rd	-1.#J	kN*m	Design buckling resistance moment	(6.3.2.1)
About the y axis of cross-section				
My,pl,Rd	5.64	kN*m	Design plastic resistance moment	(6.2.5.(2))
My,el,Rd	0.17	kN*m	Design elastic resistance moment	(6.2.5.(3))
My,c,Rd	-0.65	kN*m	Design moment resistance	(6.2.5.(2))
Vy,c,Rd	18.08	kN	Design plastic shear resistance	(6.2.6.(2))
Vy,T,Rd	18.08	kN	resistance for shear considering torsion	(6.2.7)
About the z axis of cross-section				
Mz,pl,Rd	0.51	kN*m	Design plastic resistance moment	(6.2.5.(2))
Mz,el,Rd	0.00	kN*m	Design elastic resistance moment	(6.2.5.(2))
Mz,c,Rd	0.00	kN*m	Design moment resistance of a compressed section part	(6.2.5.(2))
Vz,c,Rd	39.94	kN	Design plastic shear resistance	(6.2.6.(2))
Vz,T,Rd	39.94	kN	resistance for shear considering torsion	(6.2.7)
Verification formulas:				
Section strength check:				
JFS[SigMise]	0.55		$\sqrt{(\text{Sig}_x, \text{Ed})^2 + 3 \cdot (\text{Tau}_y, \text{Ed})^2} / (f_y / \gamma_{M0})$	(6.2.1.(5))
JFS[Vy]	0.00		$V_y, \text{Ed} / V_{y, T, Rd}$	(6.2.6-7)
JFS[Vz]	0.03		$V_z, \text{Ed} / V_{z, T, Rd}$	(6.2.6-7)
JFS[VyT]	0.00		$\text{Tau}_y, \text{Ed} / (f_y / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}))$	(6.2.6)
JFS[VzT]	0.00		$\text{Tau}_z, \text{Ed} / (f_y / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}))$	(6.2.6)
Ratio				
RAT	0.55		Efficiency ratio	Section OK
Deflections (LOCAL SYSTEM):				
uy	-0.0269	mm	Member deflection along y axis	
uyt max(rel)	10.0000	mm	Allowable member deflection along Y axis - relative value	
uy max	10.0000	mm	Allowable member deflection along y axis	
Ratio(uy)	0.00		Efficiency ratio	
Verified				
uz	-1.4325	mm	Member deflection along z axis	
uzt max(rel)	10.0000	mm	Allowable member deflection along Z axis - relative value	
uz max	10.0000	mm	Allowable member deflection along z axis	
Ratio(uz)	0.14		Efficiency ratio	
Verified				

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2015

Author:

Address:

File: Projeto residência em LSF.rtd

Project: Projeto residência em LSF

Symbol	Values	Unit	Symbol description	Section
MEMBER: 3164 Viga_3164 ; COORDINATE: x = 0.00 L = 0.00 m				
Cross-section properties: Ue 200x40x12x1.25				
Ax	3.697	cm ²	Cross-section area	
Ay	1.228	cm ²	Shear area - y-axis	
Az	2.713	cm ²	Shear area - z-axis	
Ix	198.443	cm ⁴	Torsional constant	
Iy	6.539	cm ⁴	Moment of inertia of a section about the y-axis	
Iz	0.019	cm ⁴	Moment of inertia of a section about the z-axis	
Wely	0.654	cm ³	Elastic section modulus about the y-axis	
Welz,r	0.006	cm ³	Elastic section modulus about the z-axis - right edge	
Welz,l	0.024	cm ³	Elastic section modulus about the z-axis - left edge	
h	20.00	cm	Height of cross-section	
b	4.00	cm	Width of cross-section	
t	0.13	cm	Flange thickness	
tw	0.13	cm	Web thickness	
ry	1.33	cm	Radius of gyration - y-axis	
rz	0.07	cm	Radius of gyration - z-axis	
Anb	1.00		Net area to gross area ratio	(6.2.2.2)
Eta	1.00		Factor for Av calculation	(6.2.6.(3))
Material:				
Name			STEEL A572-50	
fy	34.47	kN/cm ²	Design yield strength of material	(3.2)
fuk	44.82	kN/cm ²	Limit tensile stress - characteristic value	(3.2)
gammaM0	1.00		Partial safety factor	(6.1.(1))
gammaM1	1.00		Partial safety factor	(6.1.(1))
gammaM2	1.25		Partial safety factor	(6.1.(1))
Designations of additional codes:				
EN112			EN 1991-1-2:2003 - Fire loads on a structure	
EN312			EN 1993-1-2:2005 - Steel structures - fire design	
EN313			EN 1993-1-3:2005 - Steel structures from cold-formed sections	
EN315			EN 1993-1-5:2005 - Steel structures - plated elements	
EC111			ECCS No111:2001 - Guidebook with recommendations for fire	
ENV311			ENV 1993-1-1:1992 - Steel structures - general code	
Class of section				
b	3.88	cm	flange width	(Table 5.2)
t	0.13	cm	flange thickness	(Table 5.2)
b/t	31.00		Flange slenderness	(Table 5.2)
KLF	4		Flange class	(5.5.2)
hw	19.75	cm	Web height	(Table 5.2)
tw	0.13	cm	Web thickness	(Table 5.2)
hw/tw	158.00		Web slenderness	(Table 5.2)
KLW	4		Web class	(5.5.2)

Date : 28/11/16

Page : 1

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2015

Author:

Address:

File: Projeto residência em LSF.rtd

Project: Projeto residência em LSF

Symbol	Values	Unit	Symbol description	Section
hw/tw/lm	59.45		limit slenderness of a web for shear	EN315(5.1)
hw/tw	158.00		web slenderness for shear	EN315(5.1)
KL SZ	Slender		Classe da alma (cisalhamento)	EN315(5.1)
KL	4		Section type	(5.5.2)
Effective section parameters				
W _{eff,y}	-3.216	cm ³	Effective capacity coefficient W _{eff,y} for a cross section	(6.2.2.5)
W _{eff,z}	0.006	cm ³	Effective capacity coefficient W _{eff,z} for a cross section	(6.2.2.5)
Parameters of lateral-torsional buckling analysis:				
Detailed method [6.3.2.3]				
L _{cr,upp}	2.00	m	Lateral buckling length of upper flange	inactive
L _{cr,low}	2.00	m	Lateral buckling length of lower flange	active
C1	1.13		Factor for M _{cr} calculations	ENV311(F.1.2.(1))
C2	0.46		Factor for M _{cr} calculations	ENV311(F.1.2.(1))
C3	0.53		Factor for M _{cr} calculations	ENV311(F.1.2.(1))
w	8430.45	cm ⁶	Warping constant	(6.3.2.2)
e _g	10.00	cm	Distance from the point where the load is applied to the shear center	ENV311(F.1.2.(1))
M _{cr}	4.36	kN*m	Critical moment for lateral-torsional buckling	ENV311(F.1)
κ _c	0.94		correction factor determined by loading method	(6.3.2.3.(2))
λ _{LT}	-1.#J		Non-dimens. slend. ratio for lat.-tors. buckling	(6.3.2.2.(1))
λ _{LT0}	0.40		slenderness ratio	(6.3.2.3.(1))
Curve,LT	d		Lateral buckling curve	(6.3.2.3.(1))
α _{LT}	0.76		Imperfection factor for lateral buckling curves	(Table 6.3)
η _{LT}	-1.#J		Coefficient for calculation of XLT	(6.3.2.3.(1))
β	0.75		Coefficient for calculation of XLT	(6.3.2.3.(1))
κ _{LT}	-1.#J		Reduction factor for lateral-torsional buckling	(6.3.2.3.(1))
κ _{LT,mod}	-1.#J		reduction coefficient for calculation of XLT,mod	(6.3.2.3.(2))
κ _{LT,mod}	-1.#J		modified lateral buckling coefficient	(6.3.2.3.(2))
Internal forces at characteristic points of cross section				
T _{t,Ed}	0.00	kN*m	torsional moment	
M _{y,Ed}	-0.91	kN*m	bending moment M _{y,Ed}	
M _{z,Ed}	-0.00	kN*m	bending moment M _{z,Ed}	
V _{y,Ed}	-0.00	kN	shear force V _{y,Ed}	
V _{z,Ed}	2.84	kN	shear force V _{z,Ed}	
Stresses at characteristic points of cross-section:				
σ _{lg,x,Ed}	29.77	kN/cm ²	maximum normal stress in a section	(6.2.1)
σ _{lgMy,x,Ed}	28.32	kN/cm ²	Normal stress in the upper edge from M _y	(6.2.5)
σ _{lgMy2,x,Ed}	-29.75	kN/cm ²	Normal stress in the bottom edge from M _y	(6.2.5)
σ _{lgMz,x,Ed}	0.07	kN/cm ²	Normal stress in the right edge from M _z	(6.2.5)
σ _{lgMz2,x,Ed}	-0.02	kN/cm ²	Normal stress in the left edge from M _z	(6.2.5)
τ _{au,y,Ed}	-0.00	kN/cm ²	Tangent stress about y axis	(6.2.6)
τ _{au,z,Ed}	1.05	kN/cm ²	Tangent stress about z axis	(6.2.6)
τ _{au,ty,Ed}	0.00	kN/cm ²	shear stress due to torsional moment T _{t,Ed}	(6.2.7)
τ _{au,tz,Ed}	0.00	kN/cm ²	shear stress due to torsional moment T _{t,Ed}	(6.2.7)

Date : 28/11/16

Page : 2

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2015	File: Projeto residência em LSF.rtd
Author:	Project: Projeto residência em LSF
Address:	

Symbol	Values	Unit	Symbol description	Section
Design forces:				
Mb,Rd	-1.#J	kN*m	Design buckling resistance moment	(6.3.2.1)
About the y axis of cross-section				
My,pl,Rd	7.63	kN*m	Design plastic resistance moment	(6.2.5.(2))
My,el,Rd	0.23	kN*m	Design elastic resistance moment	(6.2.5.(2))
My,c,Rd	-1.11	kN*m	Design moment resistance	(6.2.5.(2))
Yy,c,Rd	24.45	kN	Design plastic shear resistance	(6.2.6.(2))
Yy,T,Rd	24.45	kN	resistance for shear considering torsion	(6.2.7)
About the z axis of cross-section				
Mz,pl,Rd	0.69	kN*m	Design plastic resistance moment	(6.2.5.(2))
Mz,el,Rd	0.00	kN*m	Design elastic resistance moment	(6.2.5.(2))
Mz,c,Rd	0.00	kN*m	Design moment resistance of a compressed section part	(6.2.5.(2))
Zz,c,Rd	53.99	kN	Design plastic shear resistance	(6.2.6.(2))
Zz,T,Rd	53.99	kN	resistance for shear considering torsion	(6.2.7)
Verification formulas:				
Section strength check:				
JFS[SigMisse]	0.87		$\sqrt{(\text{Sig}_x, \text{Ed})^2 + 3 \cdot (\text{Tau}_y, \text{Ed})^2} / (f_y / \gamma_{M0})$	(6.2.1.(5))
JFS[Vy]	0.00		Vy,Ed/Vy,T,Rd	(6.2.6-7)
JFS[Vz]	0.05		Vz,Ed/Vz,T,Rd	(6.2.6-7)
JFS[VyT]	0.00		$\text{Tau}_y, \text{Ed} / (f_y / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}))$	(6.2.6)
JFS[VzT]	0.00		$\text{Tau}_z, \text{Ed} / (f_y / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}))$	(6.2.6)
Ratio:				
RAT	0.87		Efficiency ratio	Section OK
Deflections (LOCAL SYSTEM):				
uy	0.0129	mm	Member deflection along y axis	
uyt max(rel)	10.0000	mm	Allowable member deflection along Y axis - relative value	
uy max	10.0000	mm	Allowable member deflection along y axis	
Ratio(uy)	0.00		Efficiency ratio	
Verified				
uz	-3.9336	mm	Member deflection along z axis	
uzt max(rel)	10.0000	mm	Allowable member deflection along Z axis - relative value	
uz max	10.0000	mm	Allowable member deflection along z axis	
Ratio(uz)	0.39		Efficiency ratio	
Verified				

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2015
 Author:
 Address: File: Projeto residência em LSF.rtd
 Project: Projeto residência em LSF

Symbol	Values	Unit	Symbol description	Section
MEMBER: 2462 號 n ; COORDINATE: x = 0.00 L = 0.00 m				
Cross-section properties: Ue 140x40x12x0,95				
Ax	2.259	cm2	Cross-section area	
Ay	0.947	cm2	Shear area - y-axis	
Az	1.508	cm2	Shear area - z-axis	
Ix	64.945	cm4	Torsional constant	
Iy	4.674	cm4	Moment of inertia of a section about the y-axis	
Iz	0.007	cm4	Moment of inertia of a section about the z-axis	
Wely	0.668	cm3	Elastic section modulus about the y-axis	
Welz,r	0.002	cm3	Elastic section modulus about the z-axis - right edge	
Welz,l	0.007	cm3	Elastic section modulus about the z-axis - left edge	
h	14.00	cm	Height of cross-section	
b	4.00	cm	Width of cross-section	
t	0.10	cm	Flange thickness	
w	0.10	cm	Web thickness	
ry	1.44	cm	Radius of gyration - y-axis	
rz	0.05	cm	Radius of gyration - z-axis	
Anb	1.00		Net area to gross area ratio	(6.2.2.2)
Eta	1.00		Factor for Av calculation	(6.2.6.(3))
Material:				
Name			AÇO	
fy	25.50	kN/cm2	Design yield strength of material	(3.2)
fu	25.50	kN/cm2	Limit tensile stress - characteristic value	(3.2)
gM0	1.00		Partial safety factor	(6.1.(1))
gM1	1.00		Partial safety factor	(6.1.(1))
gM2	1.25		Partial safety factor	(6.1.(1))
Designations of additional codes:				
EN112			EN 1991-1-2:2003 - Fire loads on a structure	
EN312			EN 1993-1-2:2005 - Steel structures - fire design	
EN313			EN 1993-1-3:2005 - Steel structures from cold-formed sections	
EN315			EN 1993-1-5:2005 - Steel structures - plated elements	
EC111			ECCS No111:2001 - Guidebook with recommendations for fire	
ENV311			ENV 1993-1-1:1992 - Steel structures - general code	
Class of section				
b	3.91	cm	flange width	(Table 5.2)
t	0.10	cm	flange thickness	(Table 5.2)
b/t	41.11		Flange slenderness	(Table 5.2)
KLF	4		Flange class	(5.5.2)
hw	13.81	cm	Web height	(Table 5.2)
w	0.10	cm	Web thickness	(Table 5.2)
hw/w	145.37		Web slenderness	(Table 5.2)
KLW	3		Web class	(5.5.2)

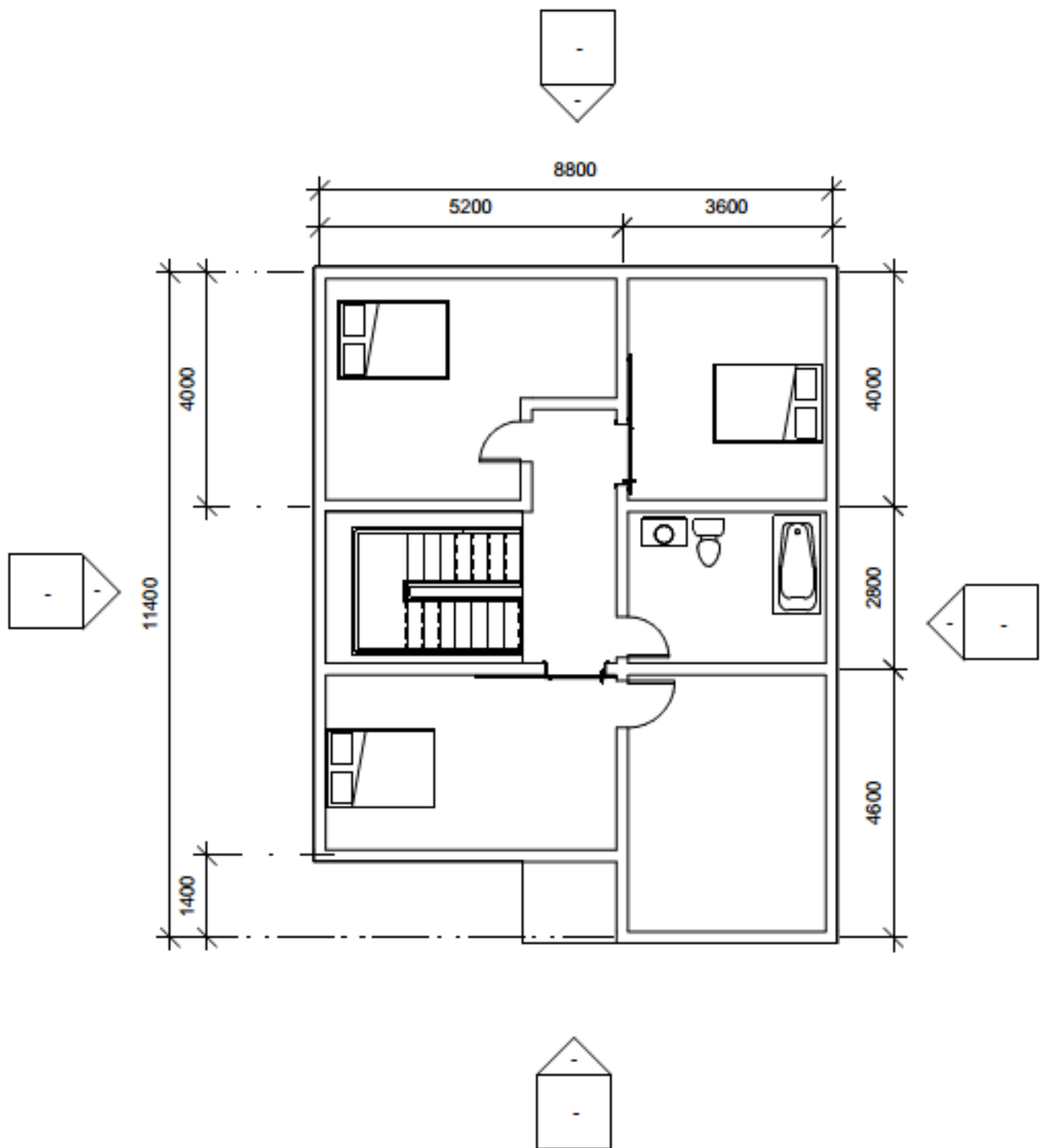
Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2015
 Author:
 Address: File: Projeto residência em LSF.rtd
 Project: Projeto residência em LSF

Symbol	Values	Unit	Symbol description	Section
hw/tw/l _{lim}	69.12		limit slenderness of a web for shear	EN315(5.1)
hw/tw	145.37		web slenderness for shear	EN315(5.1)
KL _{SZ}	Slender		Classe da alma (cisalhamento)	EN315(5.1)
KL	4		Section type	(5.5.2)
Effective section parameters				
W _{eff,y}	-1.243	cm ³	Effective capacity coefficient W _{effy} for a cross section	(6.2.5)
W _{eff,z}	0.002	cm ³	Effective capacity coefficient W _{effz} for a cross section	(6.2.5)
Parameters of lateral-torsional buckling analysis:				
KLT	1.00		Reduction factor for lateral-torsional buckling	(6.3.2.2.(1))
Internal forces at characteristic points of cross section				
Tt,Ed	0.00	kN*m	torsional moment	
My,Ed	0.04	kN*m	bending moment My,Ed	
Mz,Ed	-0.00	kN*m	bending moment Mz,Ed	
Vy,Ed	-0.00	kN	shear force Vy,Ed	
Vz,Ed	-0.03	kN	shear force Vz,Ed	
Stresses at characteristic points of cross section:				
σ _{x,Ed}	-3.93	kN/cm ²	maximum normal stress in the section	(6.2.1)
σ _{My,x,Ed}	-3.90	kN/cm ²	Normal stress in the upper edge from My	(6.2.5)
σ _{My2,x,Ed}	3.20	kN/cm ²	Normal stress in the bottom edge from My	(6.2.5)
σ _{Mz,x,Ed}	0.09	kN/cm ²	Normal stress in the right edge from Mz	(6.2.5)
σ _{Mz2,x,Ed}	-0.03	kN/cm ²	Normal stress in the left edge from Mz	(6.2.5)
τ _{au,y,Ed}	-0.00	kN/cm ²	Tangent stress about y axis	(6.2.6)
τ _{au,z,Ed}	-0.02	kN/cm ²	Tangent stress about z axis	(6.2.6)
τ _{au,ty,Ed}	0.00	kN/cm ²	shear stress due to torsional moment Tt,Ed	(6.2.7)
τ _{au,tz,Ed}	0.00	kN/cm ²	shear stress due to torsional moment Tt,Ed	(6.2.7)
Design forces:				
About the y axis of cross-section				
M _{y,pl,Rd}	2.50	kN*m	Design plastic resistance moment	(6.2.5.(2))
M _{y,el,Rd}	0.17	kN*m	Design elastic resistance moment	(6.2.5.(2))
M _{y,c,Rd}	-0.32	kN*m	Design moment resistance	(6.2.5.(2))
V _{y,c,Rd}	13.94	kN	Design plastic shear resistance	(6.2.6.(2))
V _{y,T,Rd}	13.94	kN	resistance for shear considering torsion	(6.2.7)
About the z axis of cross-section				
M _{z,pl,Rd}	0.56	kN*m	Design plastic resistance moment	(6.2.5.(2))
M _{z,el,Rd}	0.00	kN*m	Design elastic resistance moment	(6.2.5.(2))
M _{z,c,Rd}	0.00	kN*m	Design moment resistance of a compressed section part	(6.2.5.(2))
V _{z,c,Rd}	22.20	kN	Design plastic shear resistance	(6.2.6.(2))
V _{z,T,Rd}	22.20	kN	resistance for shear considering torsion	(6.2.7)
Verification formulas:				
Section strength check:				
σ _{PS} [σ _{Misse}]	0.16		$\sqrt{(\sigma_{x,Ed})^2 + 3 \cdot (\tau_{au,y,Ed} + \tau_{au,ty,Ed})^2} / (f_y / \gamma_{M0})$	(6.2.1.(5))

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2015
 Author:
 Address: File: Projeto residência em LSF.rtd
 Project: Projeto residência em LSF

Symbol	Values	Unit	Symbol description	Section
JFS[Vy]	0.00		Vy,Ed/Vy,T,Rd	(6.2.6-7)
JFS[Vz]	0.00		Vz,Ed/Vz,T,Rd	(6.2.6-7)
JFS[VyT]	0.00		$Tau,ty,Ed/(fy)(\sqrt{3})gM0)$	(6.2.6)
JFS[VzT]	0.00		$Tau,tz,Ed/(fy)(\sqrt{3})gM0)$	(6.2.6)
Global stability check of member:				
JFB[MyMz]	0.13		$My,Ed/(XLT*My,Rk/gM1) + Mz,Ed/(Mz,Rk/gM1)$	(6.3.3 (4))
Ratio:				
RAT	0.16		Efficiency ratio	Section OK
Displacements (GLOBAL SYSTEM):				
vx	0.0000	mm	Member displacement along X axis	
vxt max(rel)	18.6667	mm	Allowable member displacement along X axis - relative value	
vx max	18.6667	mm	Allowable member displacement along X axis	
Ratio(vx)	0.00		Efficiency ratio	
Verified				
vy	0.0000	mm	Member displacement along Y axis	
vyt max(rel)	18.6667	mm	Allowable member displacement along Y axis - relative value	
vy max	18.6667	mm	Allowable member displacement along Y axis	
Ratio(vy)	0.00		Efficiency ratio	
Verified				

ANEXO 3



① 02 Planta Pavimento Superior
1 : 100



UNILA
Universidade Federal
da Integração
Latino-Americana

CURSO: ENGENHARIA CIVIL DE
INFRAESTRUTURA

Discente:
Cesar Rodrigo Faraone Wing Chong

Orientador:
Prof. Dr. Aref Kalilo Lima Kzam
Co-Orientador:
Prof. Dr. Helenice Sacht

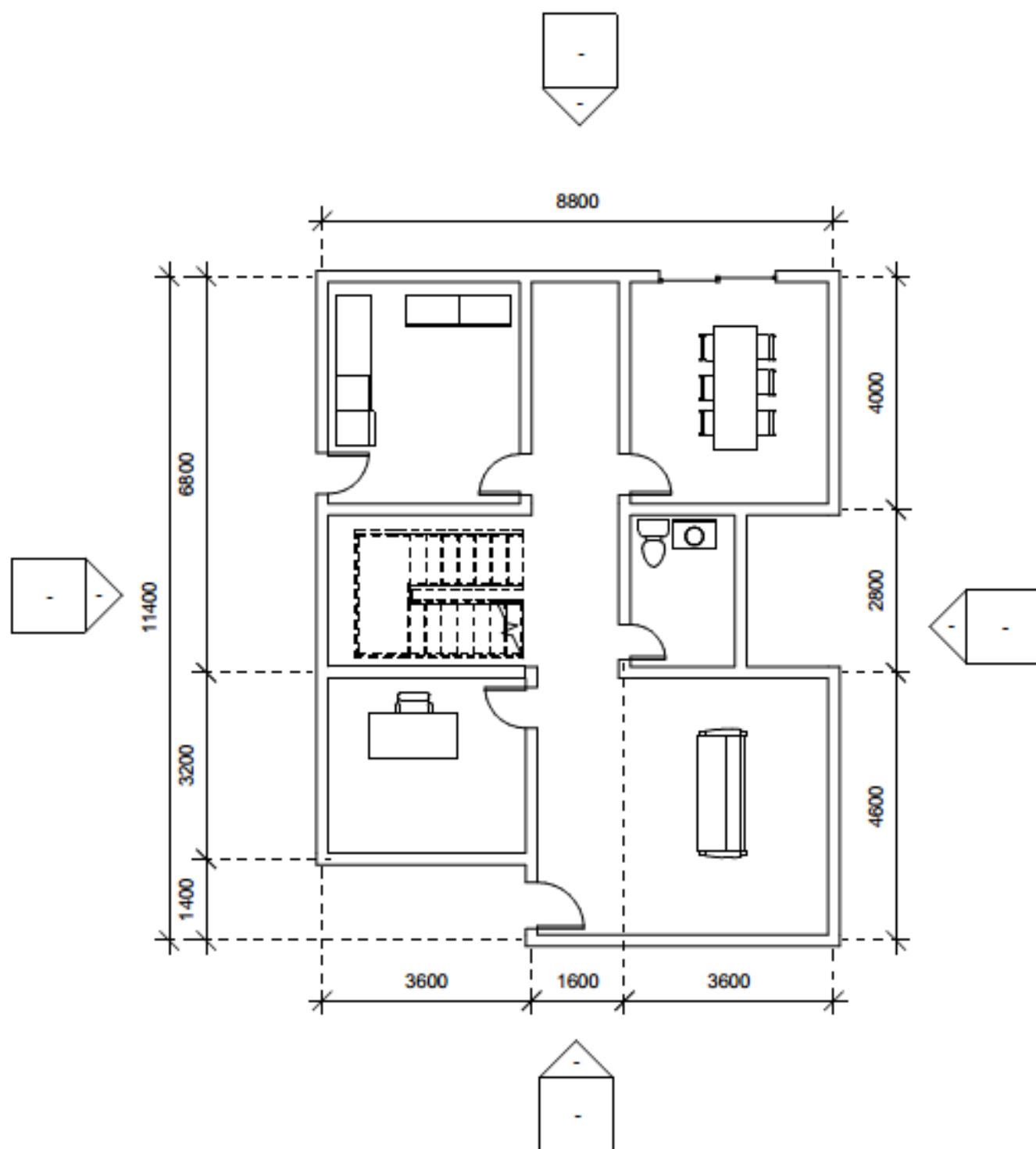
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Número do projeto 01

Data 04/10/2016

1

Escala 1 : 100



① 01 Planta Pavimento Térreo
1 : 100



UNILA
Universidade Federal
da Integração
Latino-Americana

CURSO: ENGENHARIA CIVIL DE
INFRAESTRUTURA

Discente:
Cesar Rodrigo Faraone Wing Chong

Orientador:
Prof. Dr. Aref Kalilo Lima Kzam
Co-Orientador:
Prof. Dr. Helenice Sacht

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Número do projeto 01

Data 04/10/2016

2

Escala 1 : 100