

SISTEMA CONSTRUTIVO *STEEL FRAME*: PROJETO E DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL EM SOFTWARE

Steel Framing Constructive System: structural design and sizing

Renan Grotto Mendes¹
Tamiris de Souza Pereira²
Alan Henrique Vicentini³

RESUMO

Embora seja um método construtivo relativamente novo no Brasil o sistema light steel frame (LSF) vem sendo cada vez mais utilizado devido a sua flexibilidade e agilidade construtiva, garantindo construções a seco sem geração de resíduos. Sua construção tem como base o uso de perfis formados de aço galvanizado o que resulta em uma construção mais leve. No entanto seu sucesso depende de sua aceitação no mercado, devido a isso este trabalho tem como objetivo sistematizar as informações sobre materiais, técnicas, métodos e detalhes construtivos utilizados pelo sistema LSF. Na sequência a realização do dimensionamento de uma residência utilizando o software mCalcLSF aonde foram avaliados os esforços resistentes para cada perfil, os deslocamentos máximos da estrutura e por fim, a estimativa de quantidades e perfis utilizados no projeto.

Palavras-chave: Dimensionamento; Light Steel Frame; Método construtivo;

ABSTRACT

Although it is a relatively new construction method in Brazil, the light steel frame (LSF) system has been increasingly used due to its flexibility and constructive agility, guaranteeing dry constructions without generating waste. Its construction is based on the use of profiles formed of galvanized steel which results in a lighter construction. However, its success depends on its acceptance in the market. Due to this, this work aims to systematize the information about materials, techniques, methods and construction details used by the LSF system. Following the realization of the dimensioning of a residence using the software mCalcLSF where the resistant efforts for each profile, the maximum displacements of the structure and finally, the estimation of quantities and profiles used in the project were evaluated.

Keyword: Sizing; Light steel frame; Constructive method;

1 INTRODUÇÃO

No decorrer dos anos, técnicas construtivas têm se aperfeiçoado à medida em que avançam as descobertas tecnológicas associadas ao campo de atuação da construção civil. Dentre estas técnicas está o método construtivo *Steel Frame* ou *Light*

¹ Graduando do curso de Engenharia Civil, das Faculdades Integradas “Rui Barbosa” (FIRB), Universidade Brasil – e-mail renangrottom@hotmail.com

² Graduando do curso de Engenharia Civil, das Faculdades Integradas “Rui Barbosa” (FIRB), Universidade Brasil – e-mail: engtamiris@outlook.com

³ Orientador: Engenheiro Civil, Mestre em Engenharia Civil, Doutorando em Ciência dos Materiais. Professor do curso de engenharia civil das Faculdades Integradas Rui Barbosa – e-mail: vicentini.alanh@gmail.com

Steel Framing (LSF), que consiste em um sistema construtivo industrializado e racionalizado, formado por estruturas de perfis de aço galvanizado.

O sistema construtivo LSF é pouco conhecido e utilizado no Brasil, porém vem ganhando espaço em meio as construções convencionais que são constituídas por alvenaria, pilares e vigas de concreto armado. Classificado como vantajoso pela sua redução no prazo de execução da obra, resistência e durabilidade, seu método construtivo também garante limpeza do canteiro de obras pois não há necessidade do uso de água proporcionando uma construção a seco. O sistema também é considerado preciso e a geração de resíduos é praticamente zero, já que a estrutura é fabricada com as dimensões definidas pelo dimensionamento do projeto, dispensando o corte de peças.

Segundo Rodrigues (2016), o conceito principal do projeto no sistema LSF, é dividir a estrutura em uma grande quantidade de elementos estruturais, de maneira que cada um resista a uma pequena parcela da força total aplicada. Com este critério, é possível utilizar perfis mais esbeltos e painéis mais leves e fáceis de manipular. Sua composição é feita por subsistemas, divididos em estruturais, de isolamento, de instalações e de acabamentos.

Logo, por ser um método construtivo relativamente novo no Brasil, ainda existe certo preconceito relacionado a resistência, durabilidade e segurança fazendo com que seja pouco utilizado. Nesse sentido, o trabalho reveste-se de importância uma vez que há a necessidade de se evidenciar como é realizado o projeto dando ênfase ao dimensionamento e montagem da estrutura trazendo conhecimento sobre o sistema construtivo a fim de mostrar os componentes necessários para sua execução além do projeto realizado

Por isso, alguns questionamentos serviram como apoio para as análises, tais como: Como é realizada a construção em *Light Steel Framing*? Quais os tipos de materiais utilizados? Como são divididas as estruturas? Como é realizado o projeto estrutural? Em um projeto estrutural, considerando as vantagens do sistema construtivo Steel Frame, há desvantagens para o uso do método? Em quais circunstâncias? Em relação à resistência, à durabilidade e à viabilidade econômica, quais condições que se sobressaem em comparação aos métodos de construção tradicionais?

Exposto isto, para esta pesquisa, pretendeu-se, apresentar um projeto estrutural residencial, analisar a resistência, a durabilidade e a viabilidade econômica, expondo vantagens e as desvantagens para o uso do método.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O sistema *Light Steel framing* tem como ponto forte a baixa geração de resíduos devido a sua fabricação com dimensões definidas em projeto, dispensando cortes e conseqüentemente gerando uma construção relativamente mais barata, rápida e limpa. Além disso, o sistema dispõe de infinitas maneiras de fechamento que juntamente com a redução no prazo de execução da obra influencia no preço final, que também será influenciado pelas placas de fechamento definidas em projeto.

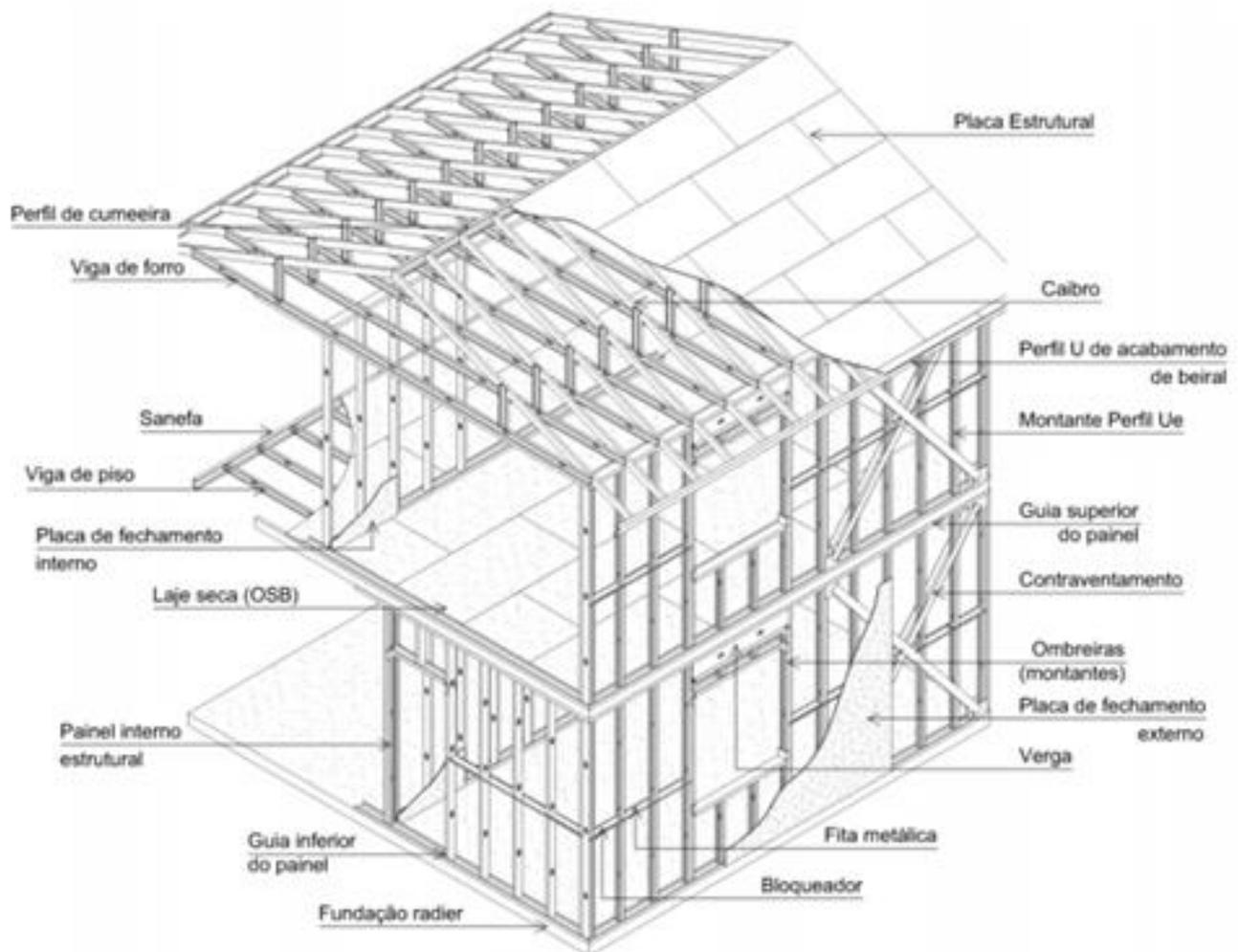
Para Crasto (2005, p. 3), as principais vantagens e benefícios do método construtivo *Steel Framing* são produtos que constituem o sistema, padronizados de tecnologia avançada, em que os elementos construtivos são produzidos industrialmente, onde a matéria prima utilizada, os processos de fabricação, suas características técnicas e acabamento passam por rigorosos controles de qualidade e também sua facilidade de obtenção dos perfis formados a frio perfilados, uma vez que são largamente utilizados pela indústria. O aço galvanizado, utilizado na montagem dos perfis, é um material de comprovada resistência e o alto controle de qualidade, tanto na produção da matéria-prima quanto de seus produtos, permitindo maior precisão dimensional e melhor desempenho da estrutura.

A facilidade de montagem, manuseio e transporte devido à leveza dos elementos, assim como durabilidade e longevidade da estrutura, é proporcionada pelo processo de galvanização das chapas de fabricação dos perfis. Como sua construção ocorre a seco, ocorre a minoração do uso de recursos naturais como água e brita e seu desperdício. Além disso, a execução das ligações reforça a característica de rapidez de construção e a leveza do sistema estrutural possibilitando a diminuição do carregamento na fundação que acaba barateando esta etapa construtiva. O aço utilizado na estrutura é um material incombustível e reciclável tornando a construção sustentável.

Conhecendo melhor sua estrutura, Rodrigues (2016, p. 13) colabora ao definir que “existem dois conceitos básicos relativos ao sistema *Light Steel Framing* (LSF): Frame é o esqueleto estrutural projetado para dar forma e suportar a edificação, sendo constituído por componentes leves – os perfis formados a frio (PFF) e Framing é o processo pelo qual se unem e vinculam esses elementos”.

Na Figura 1, a seguir, é possível ver esquematicamente a estrutura e seus subsistemas.

Figura 1 - Esquemática da estrutura em *Steel Framing* e seus subsistemas



Fonte: Crasto (2005, p. 13)

2.1 Fundações

O primeiro passo para a realização de uma construção em *Steel Frame* é a escolha e execução da fundação, seguida pelo contrapiso que dará sustentação a toda a estrutura. Assim, de acordo com Lima (2008, p. 65) “as fundações para construções em LSF são geralmente menos solicitadas que em construções tradicionais devido ao menor peso dos componentes construtivos. Outra característica interessante das construções em LSF são as cargas distribuídas de maneira uniforme nos vários perfis que compõem os painéis portantes da edificação possibilitando fundações diretas ao invés de fundações indiretas”.

Gomes (2007, p. 55), nesse sentido, acrescenta que “geralmente, a fundação utilizada no sistema LSF é a radier, que consiste em uma fundação rasa funcionando como uma laje, transmitindo as cargas da estrutura para o terreno. Basicamente, o radier é composto pela laje contínua de concreto e pelas vigas no perímetro da laje e sob as paredes estruturais ou colunas”.

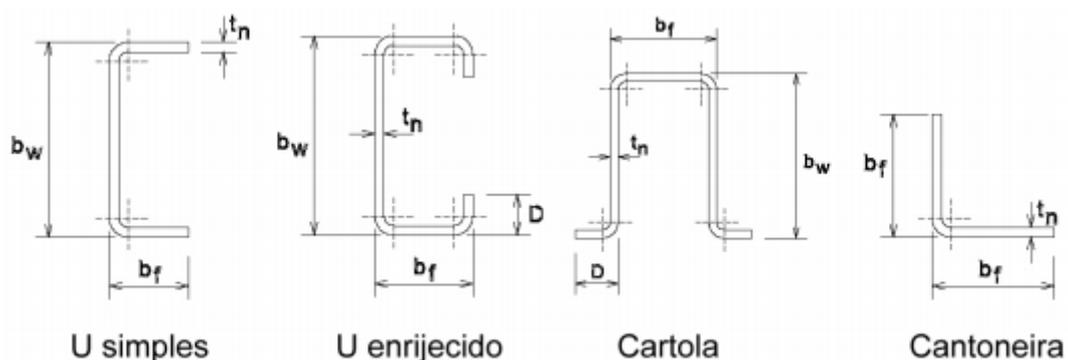
Também pode-se utilizar a fundação do tipo sapata, o que, de acordo com Lima (2008, p. 65), é indicada para “construções em LSF quando há necessidade de afastamento do nível da construção em relação ao nível do solo, seja por umidade ascendente, por infiltração de águas ou mesmo por necessidade de utilização do espaço abaixo da edificação para a instalação de algum tipo de equipamento”.

2.2 Perfis em Aço galvanizado

A peça de aço galvanizado conforme determinada na NBR 15253:2005, apud Santiago (2008), é “revestida com zinco ou liga alumínio-zinco pelo processo contínuo de imersão a quente ou por eletrodeposição. As massas mínimas de revestimento são de 150 g/m² (liga alumínio-zinco) a 180 g/m² (zinco) para perfis estruturais e de 100 g/m² para perfis não estruturais”.

Assim, os perfis utilizados no LSF são obtidos por perfilagem a partir de bobinas de aço galvanizado e as seções mais comuns nas construções em LSF são “C” ou “U” enrijecidos (Ue) para montantes e vigas, o “U” usado como guia na base e no topo dos painéis, o “Carlota” (Cr) empregado em ripas e as cantoneiras (L) (SANTIAGO, 2008, p.14), tal como exposto na Figura 2:

Figura 2 - Perfis "U" simples, "U" enrijecido, Cartola e Cantoneira



Fonte: Crasto (2005, p. 24)

2.3 Painéis

De acordo com Santiago (2008, p. 15) “o conceito estrutural do LSF é dividir as cargas da edificação em um maior número de elementos estruturais, onde cada um destes é projetado para receber uma pequena parcela de carga. Dessa forma é possível a utilização de perfis conformados a frio com chapas finas de aço”.

Dessa forma, para a “montagem dos painéis, pisos e tesouras utilizadas na estrutura que constitui o LSF são utilizados parafusos autotarraxantes e autoperfurantes. Esses parafusos possuem cabeça larga e baixa do tipo lentilha e ponta broca (Figura 3). Em ligações entre painéis, peças de apoio e tesouras enrijecedoras é utilizado o parafuso com cabeça sextavada e ponta broca, conhecido também como parafuso estrutural” (SANTIAGO, 2008), tal como indica a Figura 4.

Figura 3 - Parafuso cabeça lentilha e ponta broca



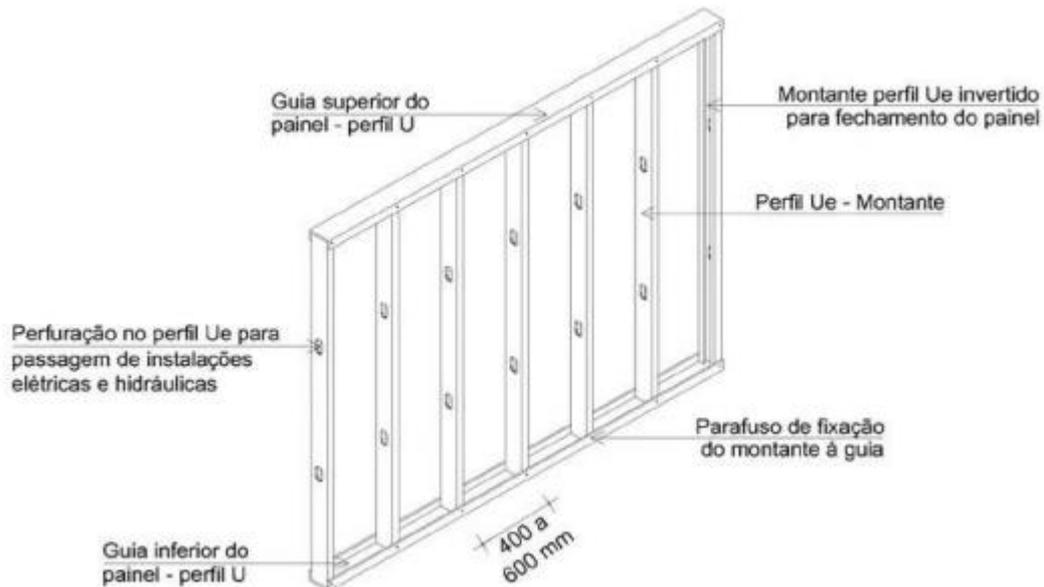
Fonte: CISER, 2021

Figura 4 - Parafuso estrutural - cabeça sextavada e ponta broca



Fonte: CISER, 2021

De acordo com Rodrigues (2016, p. 29) “as guias em perfis U ou perfis Ue no sistema de encaixes estampados devem ser usadas na horizontal para formar a base e o topo dos painéis de parede, de piso e de cobertura”. Diante desta instrução, são utilizadas - combinadas ou não com as fitas - para o travamento lateral de vigas e de montantes, e montagem das vergas, tal como indicadas pela Figura 5.

Figura 5 - Painel típico

Fonte: Manual de Arquitetura CBCA

2.4 Fechamento das paredes

O fechamento das paredes internas e externas são responsáveis por toda a imagem e conforto da edificação, portanto torna-se uma das etapas mais importantes do processo construtivo e sua racionalização pode resultar em economia para outros subsistemas envolvidos, como esquadrias, instalações e revestimentos (SALES, 2001 apud SANTIAGO, 2008).

Os elementos de fechamento internos e externos devem ser constituídos por componentes leves com baixo peso próprio, compatível com o conceito da estrutura e deve ser um sistema racionalizado que propicie uma obra rápida e seca. Além disso, os componentes empregados nos fechamentos devem atender aos critérios de habitabilidade, segurança, desempenho estrutural, resistência e reação ao fogo, estanqueidade à água, conforto termoacústico, durabilidade e estética (GOMES, 2007).

Nesse sentido, Crasto (2005) destaca que pode ser feito por diversos tipos de materiais, mas, normalmente utilizam-se placas cimentícias ou de OSB (*oriented strand board*) nas paredes externas, e chapas de gesso internamente. Os painéis utilizados na estrutura têm a função de distribuir uniformemente as cargas e encaminhá-las até o solo.

2.4.1 Placas cimentícias

Placas cimentícias, de acordo com Gomes (2007, p. 61) são utilizadas “principalmente em áreas molhadas ou expostas a intempéries, mas podem constituir fechamentos externos e internos. Essas placas são compostas basicamente por uma mistura de cimento Portland, fibras de celulose ou sintéticas e agregados” (Figura 6).

Figura 6 - Placas cimentícias



Fonte: www.brasilit.com.br/ (2021)

Segundo Santiago (2008, p. 111) “as placas cimentícias possuem constituição permeável ao vapor e impermeável à água, dispensando, a priori, a instalação de manta de polietileno”. Vale destacar, no entanto, que no processo de instalação, pode-se utilizar a manta de polietileno, entre os montantes de LSF e a placa, para garantir a estanqueidade da parede, procedimento recomendado principalmente em juntas aparentes acabadas com perfis. Além disso, o autor ressalta que o acabamento com placas cimentícias dispensa a execução de chapisco, emboço e reboco, e possui uma superfície que aceita diversos tipos de revestimento, tais como: laminado melamínico, cerâmica, verniz acrílico, pintura, massa texturizada com base acrílica e pastilhas.

2.4.2 OSB - *Oriented Strand Board*

As placas *Oriented Strand Board* (OSB), de acordo com Souza (2014, p. 83) possuem “vasta aplicação no sistema LSF, podendo ser utilizadas como fechamento da face interna e externa dos painéis, para forros, pisos e como substrato para cobertura do telhado. Suas propriedades físicas (características mecânicas, resistência a impactos e a boa estabilidade dimensional) possibilitam sua aplicação como elemento

estrutural, trabalhando como diafragma rígido quando aplicado aos painéis estruturais e lajes de piso”.

O OSB é produzido a partir de madeira de reflorestamento, orientadas em três camadas perpendiculares, que aumentam sua resistência mecânica e rigidez. Essas tiras de madeira são unidas com resinas e prensadas sob alta temperatura (MASISA, 2003, apud CRASTO, 2005). Assim, devido as suas características, não deve estar exposto a intempéries, sendo necessário a impermeabilização em áreas externas (CRASTO, 2005).

Observa-se, então, que o material foi criado visando grande versatilidade de uso e alta durabilidade, pois as chapas de OSB não possuem vazios em seu interior, nem nós, nem problemas de delaminação. Dessa forma, apresenta grande trabalhabilidade, permitindo serrar, perfurar, pregar, pintar, envernizar e colar (MASISA, 2003 apud CRASTO, 2005).

Segundo Santiago (2008, p. 99) “as chapas de OSB são comercializadas nas dimensões de 1220x2440 mm, com espessuras que variam entre 9, 12, 15 e 18 mm. A espessura a ser utilizada é determinada pelo tipo de acabamento, espaçamento entre montantes (determinado pelo cálculo estrutural) e função estrutural (se trabalha ou não como diafragma rígido)”, tal como demonstrada na Figura 7.

Figura 7- Placas de OSB (Oriented Strand Board)



Fonte: www.citiwood.co.za (2021)

2.4.3 Placas de gesso

As placas de gesso cartonado, segundo descrição feita por Santiago (2008, p.119) “devem ser utilizadas apenas em áreas internas, protegidas das intempéries”, pois, além do acabamento da face interna do fechamento vertical externo em LSF, também são empregadas nas divisórias internas entre cômodos e nos forros. Ainda nos apontamentos do autor, localiza-se que as chapas são fabricadas industrialmente por

meio de um processo de laminação contínua de uma mistura de gesso, água e aditivos entre duas lâminas de cartão, conferindo ao gesso resistência à tração e flexão.

As placas de gesso cartonado (Figura 8), utilizadas no LSF, são as mesmas utilizadas no sistema Drywall e não desempenham função estrutural, além disso, são comercializadas com espessuras de 9,5, 12,5 e 15 mm, largura de 1200 mm e comprimentos que variam de 1800 a 3600 mm (SANTIAGO, 2008).

Figura 8 - Placas de gesso cartonado



Fonte: www.voceconstroi.com.br/ (2021)

2.5 Isolamento térmico e acústico

O isolamento térmico e acústico tem grande importância em meio a construção em LSF, pois é fundamental para a qualidade de vida e conforto, garantindo que as condições externas não interfiram internamente. Além disso, atuam barrando a transmissão de sons e evitando as perdas ou ganhos de calor para o meio externo, o que, de acordo com Crasto (2005), permite o “fechamento vertical tem papel fundamental no isolamento termo-acústico, pois constituem as barreiras físicas entre os ambientes e o exterior”.

Para que isso seja possível, segundo Santiago (2008, p. 22), “os materiais intermediários mais comuns nesse tipo de aplicação são a lã de rocha ou a lã de vidro. A montagem desse isolamento é feita após a execução de uma das faces do fechamento. O isolamento é fornecido em rolos, que são cortados e instalados entre os montantes. Imediatamente, procede-se a instalação da segunda face do fechamento, pois esse tipo de material possui grande sensibilidade às intempéries e à poeira”.

2.6 Lajes

Na engenharia civil, a laje é conceituada como uma estrutura plana e horizontal (mais comumente feita de concreto armado), apoiada em vigas e pilares que divide os pavimentos de uma construção. Nesse sentido, Gomes (2007, p.51) menciona que, conforme a natureza do contrapiso, a laje pode ser denominada “seca” ou “úmida”. Em particular, a laje do tipo seca é composta por placas rígidas de OSB (*Oriented Strand Board*) ou cimentícias aparafusadas a estrutura do piso, servindo como contrapiso. A placa de OSB, com 18 mm, é a mais utilizada, pois pode desempenhar a função de diafragma horizontal. Já em áreas molhadas, o uso da placa cimentícia é mais recomendado por sua resistência à umidade.

Gomes (2007, p.51) acrescenta que “pode-se empregar lã de vidro entre as vigas e manta de polietileno expandido entre o contrapiso e a estrutura para reduzir o nível de ruído entre um pavimento e outro. Dentre as vantagens no uso da laje seca, destaca-se a menor carga por peso próprio e a construção a seco, sem a necessidade da água na obra”.

2.7 Coberturas

A cobertura ou telhado é destinada a proteção da edificação sobre a ação de intempéries, tendo também de certa forma função estética, podendo variar desde formações mais simples até projetos mais complexos com grande quantidade de águas ou planos de inclinação. Do mesmo modo que são feitas as construções convencionais, o sistema *Steel Framing* possibilita a realização de diversos tipos de projetos de cobertura seguindo os mesmos princípios dos telhados de madeira.

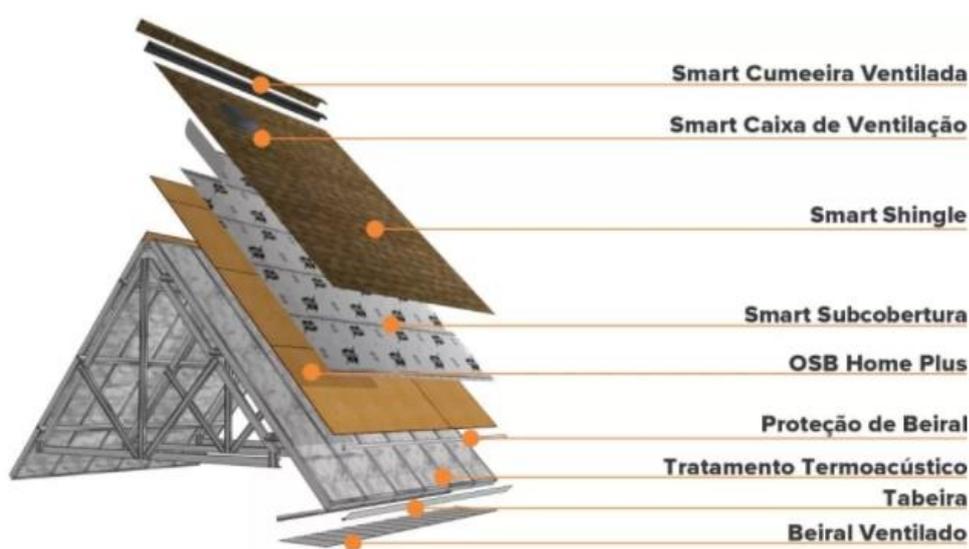
Segundo Moliterno (2003), apud Crasto (2005, p.94), “o telhado compõe-se de duas partes principais: Sua Cobertura, podendo ser de materiais diversos desde que impermeáveis as águas pluviais e resistentes a ação do vento e intempéries e sua Armação que corresponde ao conjunto de elementos estruturais para a sustentação da cobertura tais como ripas, caibros, tesouras e contraventamentos”.

Para a cobertura do telhado, podem ser usados diversos modelos de telhas tanto cerâmicos quanto de outros tipos de material. Segundo Gomes (2007 p.54), “para telhados inclinados com telhas cerâmicas é necessário o uso do OSB (protegido com uma manta de impermeabilização) como substrato de apoio. Sobre o OSB, são

colocados os perfis tipo cartola paralelos aos caibros para possibilitar o escoamento da água, e sobre estes são fixadas as ripas para o encaixe das telhas”.

De acordo com Crasto (2005, p. 15) “as telhas utilizadas para a cobertura podem ser cerâmicas, metálicas, de cimento reforçado por fios sintéticos ou de concreto. Também é comum o uso de telhas “shingles”, que são compostas de material asfáltico”. Na Figura 9, a seguir, é possível ver esquematicamente como é realizada a estrutura do telhado usando telhas do tipo “shingles”:

Figura 9 - Esquemática de telhado utilizando telhas “shingles”



Fonte: espacosmart.com.br/ (2021)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada para a realização do projeto está voltada para a apresentação do método construtivo, expressão do dimensionamento e análise da estrutura *Steel Frame* em softwares. Tendo em vista que “O conceito principal do projeto LSF é dividir a estrutura em uma grande quantidade de elementos estruturais, de maneira que cada um resista a uma pequena parcela da força total aplicada, sendo possível utilizar perfis mais esbeltos e painéis mais leves e fáceis de manipular”. (RODRIGUES, 2016, p.21)

Para isso foi necessária uma pesquisa bibliográfica sobre o assunto abordado, tendo como base publicações em livros, artigos científicos, trabalhos acadêmicos e

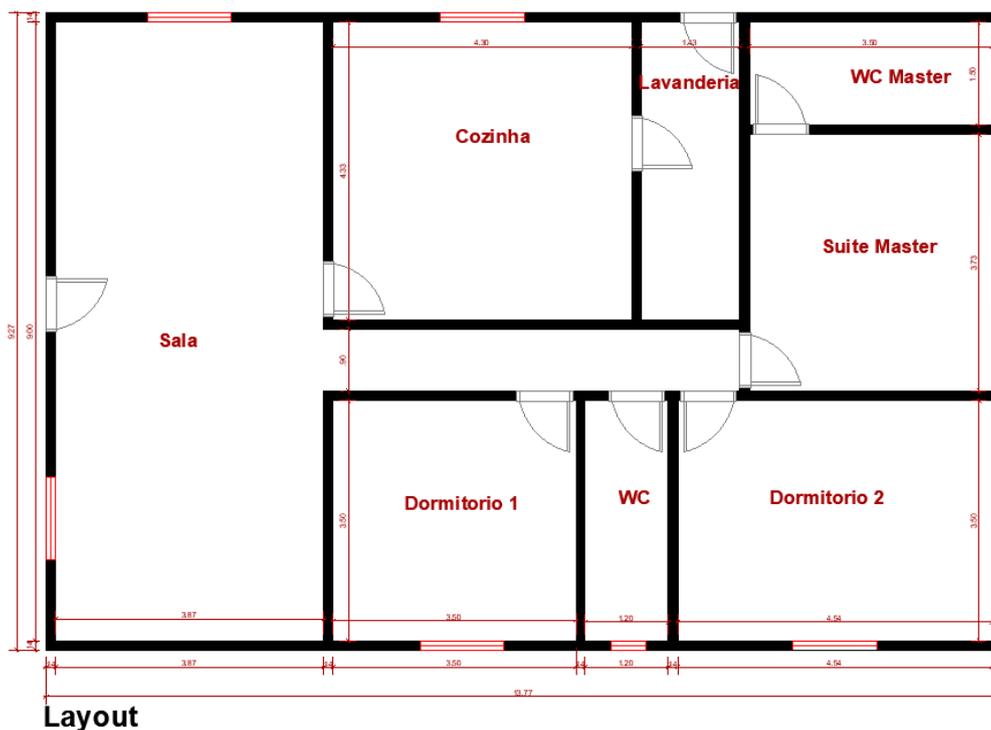
normas técnicas da NBR. Tais informações foram registradas em um documento de fichamentos de forma a facilitar a localização e relação entre as mesmas

Portanto, a pesquisa atende à finalidade descritivo-explicativa, cujas considerações e análises estão expostas no desenvolvimento do trabalho apontando as especificidades do método construtivo, assim como explicações sobre as relações que envolvem a montagem de tais estruturas.

4 APRESENÇÃO DO PROJETO

O este projeto, inicialmente, foi elaborado a partir de um anteprojeto, considerando uma residência para a qual se definiu o layout, ou seja, dimensões dos cômodos e esquadrias. Logo, no software AutoCad 2D, foi ilustrado a planta baixa da residência, tal como mostra a imagem da Figura 10, a seguir.

Figura 10 – Planta baixa sem escala



Fonte: Elaborada pelos autores

A partir do layout observa-se que no projeto em questão estão contempladas as dimensões da sala, cozinha, dormitórios 1 e 2, banheiro social, lavanderia e dormitório com banheiro (suíte), totalizando 127,65m² (cento e vinte e sete metros e sessenta e cinco centímetros quadrados).

4.1 Pré-dimensionamento estrutural

Considerando os avanços tecnológicos, para a elaboração do pré-dimensionamento, foi utilizado o software brasileiro mCalcLSF. Este programa foi desenvolvido especificamente para a elaboração de projetos do sistema *Light Steel Framing* sendo possível a modelagem estrutural considerando as propriedades e comportamento da estrutura, assim como a realização automática das combinações de ação, análise estrutural determinando as solicitações em cada barra, e também as solicitações nos nós, dimensionamento estrutural com verificação dos perfis considerados na modelagem. Dessa forma, o projeto estrutural oferece um esboço de todas as vistas, relatório estrutural e quantitativo de material.

O software é adaptado às normas brasileiras referentes ao dimensionamento em perfis formados a frio respeitando as normas:

- ABNT NBR 6123; 1988 relacionada as forças devidas ao vento em edificações;
- ABNT NBR 15253; 2014 relacionada aos Perfis de aço formados a frio com revestimento metálico para painéis estruturais reticulados em edificações;
- ABNT NBR 14762; 2010 relacionada ao dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio; e,
- ABNT NBR 6120;2020 relacionada as cargas para o cálculo de edificações.

4.2 Definição dos materiais e suas respectivas cargas

Preliminarmente, foi definida a malha de referência quadriculada de 600mm x 600mm. Os perfis utilizados para as premissas de cálculo foram considerados o padrão do software (Apêndice A), assim foram definidas as sobrecargas e cargas variáveis e permanentes conforme as especificações dos materiais utilizados onde foram considerados para o pré-dimensionamento com os materiais expostos na Tabela 1, a seguir.

Tabela 1- Carga dos materiais

	Materiais	Carga Permanente
Vedação Externa	Placa cimentícia 12mm $\gamma = 17 \text{ KN/m}^2$	$0,012.17 = 0,204 \text{ KN/m}^2$
	Lã de vidro 50mm $\gamma = 0,12 \text{ KN/m}^2$	$0,050.0,12 = 0,006 \text{ KN/m}^2$
Vedação Interna	Placa de OSB 14mm $\gamma = 6,4 \text{ KN/m}^2$	$0,014.6,4 = 0,0896 \text{ KN/m}^2$
	Revestimento porcelanato	$0,03 \text{ KN/m}^2$
Forro	Gesso 12mm $\gamma = 0,12 \text{ KN/m}^2$	$\gamma = 0,12 \text{ KN/m}^2$
Telhado	Placa de OSB 14mm $\gamma = 6,4 \text{ KN/m}^2$	$0,014.6,4 = 0,0896 \text{ KN/m}^2$
	Telha Shingle $\gamma = 11 \text{ Kg/m}^2$	$\gamma = 11 \text{ Kg/m}^2$

Fonte: Elaborado pelos autores

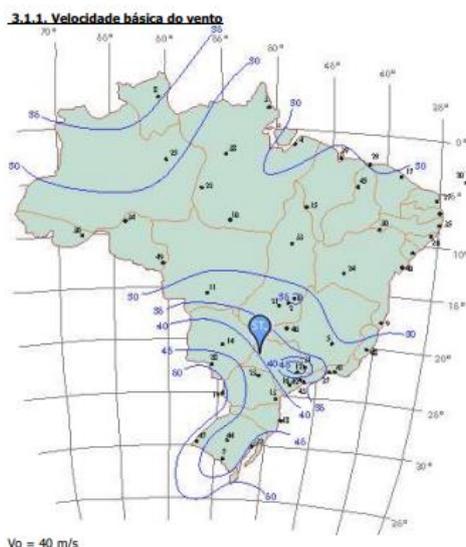
O símbolo γ (gama) se refere ao peso específico de cada material. Assim, as sobrecargas foram consideradas conforme ABNT NBR 6120;2020, seguida da adição de uma sobrecarga em toda cobertura de $0,50 \text{ KN/m}^2$ referente ao forro e ao longo de toda estrutura de $0,75 \text{ KN/m}^2$, referente ao acesso de pessoas a futuras manutenções, para simplificação de cálculo foi desconsiderado o peso da caixa d'água.

4.2 Determinação da ação do vento na estrutura

Para determinação da ação do vento na estrutura, o software segue a ABNT NBR 6123; 1988, onde estão prescritos todos os procedimentos para esta determinação.

Então, preliminarmente, foram necessários alguns dados básicos do *layout*, como quantas águas será o telhado, pé direito e dimensões da estrutura. Posteriormente, foi indicada a localização da obra e, conforme os aspectos geográficos da região selecionada, o software constatou que a velocidade básica do vento "V0" é igual a 40 m/s (quarenta metros por segundo). Tal consideração está exposta na Figura 11, a seguir.

Figura 11 – Velocidade básica do vento conforme aspecto geográfico



Fonte: Elaborado pelos autores

Após a definição de “V0”, é analisado o fator topográfico do terreno “S1”, onde foi considerado um terreno plano ou fracamente acidentado, ou seja, S1 é igual a 1,0. Em seguida, foi definido a rugosidade do terreno definido pelo fator “S2”, analisando as dimensões da edificação e altura sobre o terreno foi considerado categoria IV. Esta categoria se refere aos terrenos cobertos por obstáculos numerosos, no caso especificamente de cidades pequenas e seus arredores, a novel do terreno foi considerada igual a 0 (zero) e as dimensões da edificação foram consideradas “Classe A”, conforme a norma prescrita anteriormente. Quanto à altura da edificação, esta foi igual a 2,80m (dois metros e oitenta centímetros), então através da fórmula indicada obtém-se que “S2” é igual a 0,79.

Posteriormente, foi definido o fator estatístico “S3”, o qual é considerado o grau de segurança requerido e a vida útil da estrutura. Após análise, verificou que o valor mínimo do fator estatístico através da tabela fornecida no Apêndice C, da norma ABNT NBR 6123; 1988, que se refere ao “Grupo 2”, obtendo assim o fator igual a 1,00.

Por fim, após definidos todos os fatores prescritos na norma, foi feito o cálculo da pressão dinâmica do vento, ou seja, a velocidade característica do vento, utilizando a fórmula 1:

$$VK = V0.S1.S2.S3 \quad [1]$$

Obtendo-se: $VK = 31,65 \text{ m/s}$

O software gerou automaticamente um relatório detalhado com todos os fatores utilizados e o cálculo sobre o vento na edificação (disponível no Apêndice B). A ação do vento foi aplicada nos montantes das 4 (quatro) faces da estrutura, norte, sul, leste e oeste.

4.3 Modelando a estrutura

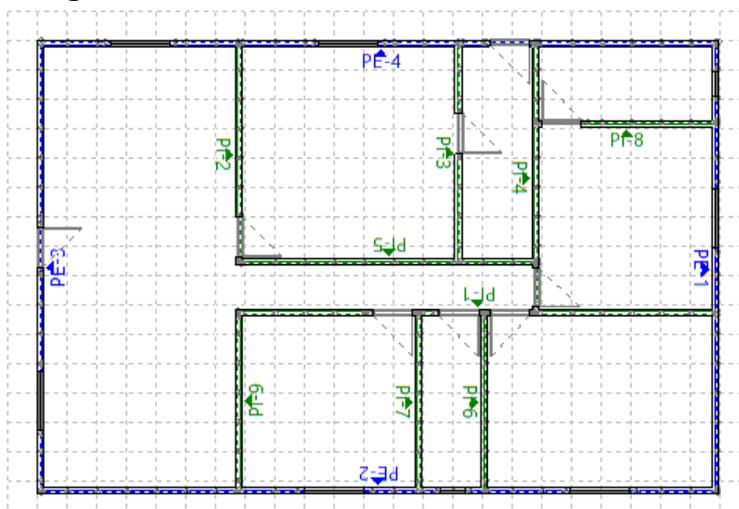
Utilizando o Software AutoCad 2D, foi exportada a planta baixa do projeto arquitetônico como um arquivo DXF, onde o mesmo foi importado para o software mCalcLSF para servir como base na modelagem.

Em seguida, foi feita a inserção das guias - divididas entre guias externas e guias internas. É importante defini-las, pois se diferem nos materiais utilizados, gera carregamentos diferenciados, conseqüentemente, as guias externas são mais solicitadas do que as internas.

Após a inserção das guias, foram inseridos os montantes e, então, ajustadas as extremidades onde há encontro dos painéis. Os montantes das paredes internas são dimensionados à compressão e à tração atuando isoladamente dos montantes externos, pois as paredes externas são consideradas a ação do vento, sendo dimensionados à flexão composta, e forças axiais solicitantes de tração e compressão (RODRIGUES, 2016, p.31).

Na Figura 12, a seguir, pode-se observar as guias externas explicitas na cor azul e internas em verde, assim como os montantes inseridos a cada 600mm.

Figura 12 – Guias externas, internas e montante



Fonte: Elaborado pelos autores

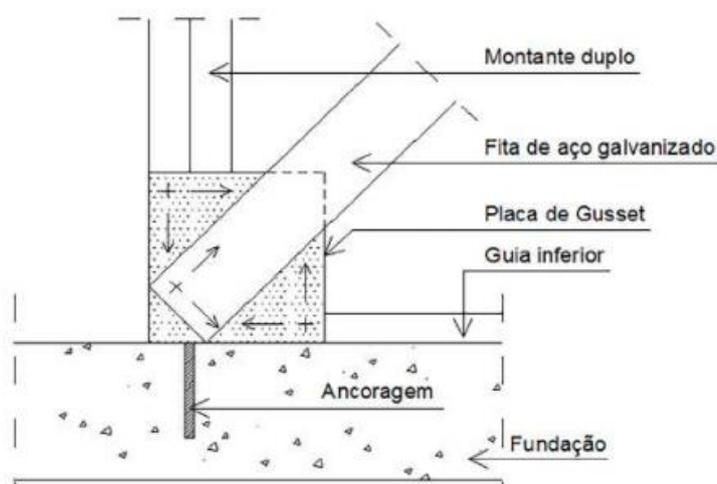
Posteriormente a inserção dos montantes, ainda utilizando a vista superior no plano XY, foram inseridas as esquadrias nos pontos demarcados no projeto arquitetônico, no qual as janelas dos banheiros foram definidas no modelo Max Air com dimensões de 50cm x 50cm, e peitoril de 2,00m. Nas janelas nos demais cômodos, foram consideradas venezianas de alumínio com dimensões de 120cm x 120cm e peitoril de 1,00m, todas as portas nas aberturas indicadas foram consideradas com as dimensões padrões sendo altura de 2,10m.

Após a inserção das esquadrias, foi necessário editar cada painel em suas respectivas vistas no plano XZ e YZ, pois onde estão as esquadrias é necessário inserir as vergas e os montantes de abertura, este montante de abertura nada mais é que um reforço estrutura na lateral das janelas e portas.

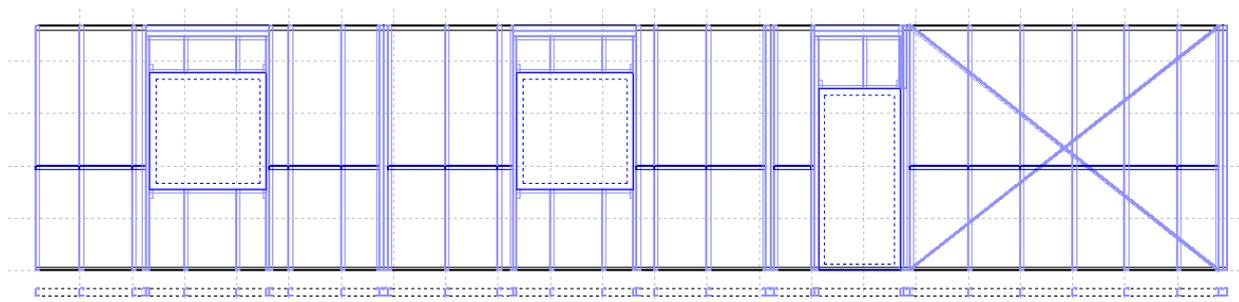
Ainda na modelagem de cada painel, foi inserido os bloqueadores em perfis UE rígidos em toda a extensão do painel no qual tem a função de enrijecer o painel estrutural diminuindo o comprimento efetivo de flambagem global por torção, (RODRIGUES, 2016, p. 31). Também foram inseridas as fitas de contraventamento em aço galvanizado em X em pontos específicos com função de resistir a força axial de tração. Tais contraventamentos são fixados na placa de *gusset* onde também é feita a ancoragem na fundação do montante duplo ou entre painéis.

A Figura 13 mostra o detalhamento das fixações e, em seguida, a Figura 14 apresenta o painel externo referente ao número quatro.

Figura 13 – Fixação das diagonais nos painéis

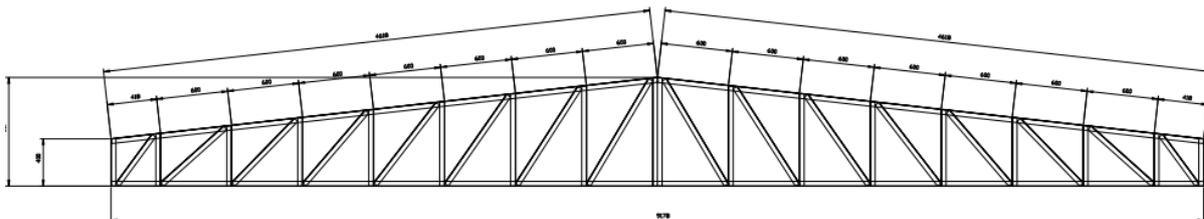


Fonte: Manual de Construção em Aço (CBCA)

Figura 14 - Painel externo número quatro

Fonte: Elaborado pelos autores

Para a cobertura foi utilizado tesoura treliçada, ao longo da estrutura, e oitão na extremidade. As platibandas, na lateral, teve uma altura considerada de 40cm (quarenta centímetros). A inclinação da tesoura foi definida em 20%, as telhas Shingle comportam uma grande variedade de inclinação podendo ir de 15% a 90% (Figura 15).

Figura 15 – Tesoura utilizada

Fonte: Elaborado pelos autores

5 ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO

Após gerar um modelo tridimensional da estrutura automaticamente, cada elemento da estrutura foi representado por uma cor para que ficasse mais fácil a identificação de todos os elementos estruturais inseridos, como as guias, montantes, contraventamentos, platibanda, tesoura, oitão e terças.

5.1 Combinação de ação e verificação dos estados limites

Os estados limites prescritos pela ABNT NBR 8800; 2008 são considerados como critério de segurança baseada na ABNT NBR 8681, tal que “Para os efeitos desta Norma devem ser considerados os estados limites últimos (ELU) e os estados limites de serviço (ELS). Os estados limites últimos estão relacionados com a segurança da estrutura sujeita às combinações mais desfavoráveis de ações previstas em toda a vida

útil, durante a construção ou quando atuar uma ação especial ou excepcional. Os estados limites de serviço estão relacionados com o desempenho da estrutura sob condições normais de utilização”.

Na Figura 16, consta dados em uma tabela, onde verificam-se os coeficientes de majoração das ações variáveis prescritos pela norma.

Figura 16 – Fatores de combinação para ações variáveis

Ações		γ_{f2}		
		ψ_0	ψ_1	ψ_2 ^{3) 4)}
Cargas acidentais de edifícios	Locais em que não há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas ¹⁾	0,5	0,4	0,3
	Locais em que há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevadas concentrações de pessoas ²⁾	0,7	0,6	0,4
	Bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas e garagens	0,8	0,7	0,6
Vento	Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0
Temperatura	Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3
Cargas móveis e seus efeitos dinâmicos	Passarelas de pedestres	0,6	0,4	0,3
	Vigas de rolamento de pontes rolantes	1,0	0,8	0,5
NOTAS:				
¹⁾ Edificações residenciais de acesso restrito.				
²⁾ Edificações comerciais, de escritórios e de acesso público				
³⁾ Para combinações excepcionais onde a ação principal for sismo, admite-se adotar para ψ_2 o valor zero.				
⁴⁾ Para combinações excepcionais onde a ação principal for o fogo, o fator de redução ψ_2 pode ser reduzido, multiplicando-o por 0,7.				

Fonte: ABNT 8800:2008

Após a análise feita pelo software, onde, conforme normas de dimensionamento, pode-se verificar que ao ser submetido às 5 (cinco) combinações de ações de estados limites últimos ELU e estados limites de serviço ELS, a estrutura atendeu às solicitações, sendo constatada a inexistência de erros. Dessa forma, foram anexadas as combinações de ações efetuadas pelo software, ao Apêndice D. A equação aplicada se refere a prescrição na ABNT NBR 8800; 2008, tal como indicada pela fórmula 2, a seguir:

$$F_d = \sum_{i=1}^m (\gamma_{gi} \cdot F_{Gi,k}) + \gamma_{q1} \cdot F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n (\gamma_{qj} \cdot \psi_{0j} \cdot F_{Qj,k}) \quad [2]$$

Onde:

F_d – Valor de cálculo do efeito das ações;

$F_{Gi,k}$ – Valor característico da ação permanente;

$F_{Q1,k}$ – Valor característico da ação variável principal;

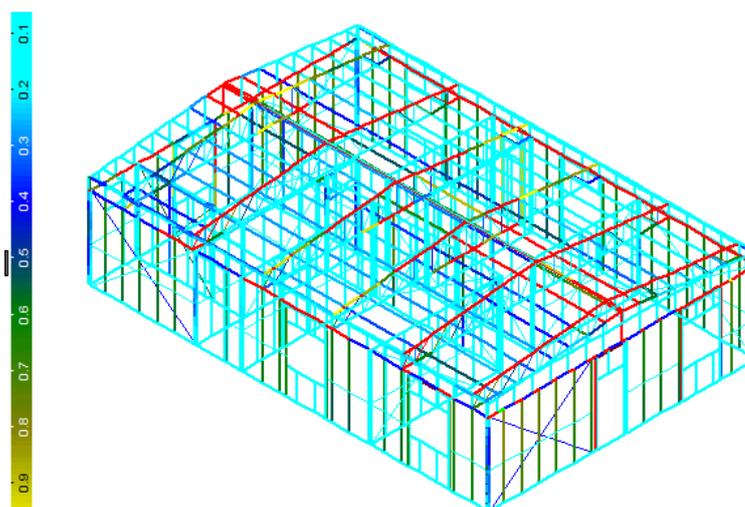
ψ_0 – Fatores de redução para ação variável secundária

5.2 Análise dos esforços solicitantes na estrutura

Após o dimensionamento, a estrutura é gerada automaticamente e apresentada em uma escala de cores do vermelho ao azul turquesa, cada qual indicando uma situação diferente do dimensionamento.

A Figura 17, a seguir, refere-se a primeira análise feita pelo software sendo os perfis em azul turquesa superdimensionados e os em vermelho são os perfis que não resistiram aos esforços.

Figura 17 – Concepção do dimensionamento inicial da estrutura



Fonte: Elaborado pelos autores

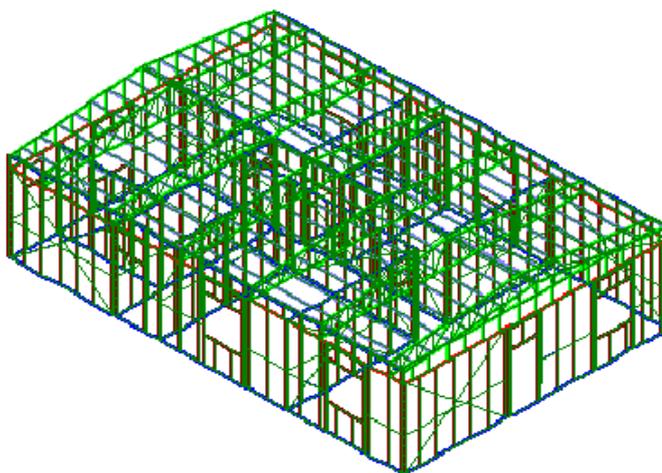
Observa-se, pela imagem, que alguns perfis apresentaram a cor vermelha o que significa que a solicitação resistente de cálculo é maior que as solicitações determinadas ($S_d \leq R_d$). Para solucionar o problema foi feita a análise automática de cada perfil, separadamente, assim o software aponta para uma solução com outras dimensões de perfil ou a troca deste perfil. Sendo assim, a cada alteração feita na estrutura se calculava a resistência novamente até que todos elementos atendessem às solicitações.

Posteriormente, a todo dimensionamento o software oferece gráficos para análise conforme cada ação, sendo elas peso próprio da estrutura, ação permanente nas paredes e telhado, sobrecarga no telhado e parede e ação do vento em 0° , 90° , 180° e 270° .

6. ANÁLISES A PARTIR DAS PROPOSIÇÕES DO SOFTWARE

Tendo em vista que sistema estrutural do *Light Steel Framing* é composto por aço galvanizado ZAR 230, sendo, portanto, de alta resistência, como analisado anteriormente, foi possível verificar que alguns perfis estivessem superdimensionados. Então, com o intuito de diminuir os custos, foi analisado novamente os perfis que não atenderam às solicitações e superdimensionados, o que fez com que alguns perfis fossem tivessem a seção diminuída e outros fossem substituídos. Após esta etapa, chegou-se à concepção demonstrada por meio da Figura 18.

Figura - 18 – Concepção do dimensionamento final da estrutura



Fonte: Elaborado pelos autores.

Com o dimensionamento concluído, foi possível emitir uma planilha com dados sobre todos os nós, dimensões de todos os perfis barras, nos quais foram dimensionadas 3456 barras, detalhando cada uma separadamente, assim como suas respectivas forças normal, cortante e momento e dimensões do perfil (Apêndice E), também sendo gerada uma planilha de quantitativo de material.

A Tabela 2, a seguir, demonstra as características principais obtidas da estrutura (número de nós), e a Tabela 3 apresenta o quantitativo de material.

Tabela 2 – Características principais

Número de nós	2066
Número de barras	3456
Número de nós vinculados	243
Número de estados de ações	10

Fonte: Elaborado pelos autores

Tabela 3 – Quantitativo de material

Unidades: kN-m

Perfil	Aço	L total	Peso(kgf)
[92 x 40 x 0.95	ZAR-230	257.04	322.41
UENR 90 x 40 x 12 x 0.95	ZAR-230	644	895.21
IENR 90 x 40 x 12 x 0.95 x 0	ZAR-230	85.96	238.97
CA 120 x 46 x 12 x 0.95	ZAR-230	16.45	56.03
RET 35 x 0.95	ZAR-230	96.9	25.29
][92 x 40 x 0.95 x 0	ZAR-230	33.42	83.83
[90 x 40 x 0.80	ZAR-230	136.6	143.09
CART 30 x 40 x 12 x 0.8	ZAR-230	246.2	181.83
[90 x 40 x 0.95	ZAR-230	141.56	175.45
][90 x 40 x 0.8 x 0	ZAR-230	5.51	11.54
][90 x 40 x 0.95 x 0	ZAR-230	12.21	30.28

Peso Total: 2163.94 kgf

Fonte: Elaborado pelos autores

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os avanços tecnológicos, o surgimento de softwares foi uma ferramenta importante para conseguir obter sempre uma melhor solução, pois consegue-se obter resultados com precisão, principalmente na área da construção civil.

Dessa forma, o dimensionamento de uma estrutura é uma das etapas mais importantes, pois, a partir dos dados obtidos, consegue-se definir qual a melhor solução para a estrutura e os materiais a serem utilizados, potencializando a diminuição de custo e efetividade da construção.

Quando definidos os materiais do projeto, o fato de serem materiais industrializados, também contribui a não gerar desperdício, pois os perfis e fechamentos veem prontos da fábrica, sendo necessária apenas a instalação. Os materiais do LSF costumam ter um custo mais elevado do que a construção convencional de alvenaria, mas como sistema economiza muito em tempo e desperdício de material acaba sendo uma solução viável.

REFERÊNCIAS

BRASILIT. **Placa cimentícia BrasiPlac**, catálogo técnico. São Paulo, 2021. Disponível em: <https://www.brasilit.com.br/>. Acesso em maio de 2021.

CISER PARAFUSOS E PORCAS. **Catálogo técnico. Joinville, 2021**. Disponível em <<http://www.ciser.com.br>>. Acesso em abril de 2021.

ESPAÇO SMART. **Tudo para construção a seco**, Ponta Grossa PR, 2021. Disponível em: < <https://www.espacosmart.com.br/> >. Acesso em maio de 2021.

CRASTO, Renata Cristina Moraes de. **Arquitetura e tecnologia em sistemas construtivos industrializados: light steel framing**. 2005. 231 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005. [Orientadora: Prof. Dra. Arlene Maria Sarmanho Freitas]. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/6246>. Acesso em: 22 nov. 2020

GOMES, Adriano Pinto. **Avaliação do desempenho térmico de edificações unifamiliares em light steel framing**. 2007. 172 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Civil) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2008. [Orientador: Prof. Dr. Henor Artur de Souza]. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/2238>. Acesso em: 22 nov. 2020

LIMA, André Luiz de Alcântara. **Construção de edificações em módulos pré-fabricados em LSF – Light Steel Framing**. 2008. 188 f. Ensaio Projetual - Universidade Federal do Espírito Santo, 2008. [Orientador: Prof. Dr. Ing. João Luiz Calmon Nogueira da Gama]. Disponível em: Domínio Público - Detalhe da Obra (dominiopublico.gov.br). Acesso em abril 2021.

RODRIGUES, Francisco Carlos. **Manual de construção em aço**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBS/ICBA. 2016, 226 p. Disponível em: <https://www.cbca-acobrasil.org.br/site/index.php>. Acesso em: 25 set. 2020

SANTIAGO, Alexandre Kokke. **O uso do sistema light steel framing associado a outros sistemas construtivos como fechamento vertical externo não-estrutural**. 2008. 153 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Civil) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2008. [Orientador: Prof. Dr. Ernani Carlos de Araújo]. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/2248>. Acesso em: 22 nov. 2020

SOUZA, Eduardo Luciano. **Construção civil e tecnologia: estudo do sistema construtivo light steel framing**. 2014. 121 f. Monografia (Curso de especialização) - Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2014. [Orientador: Prof. Dr. Antônio Neves de Carvalho Júnior]. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUBD-AGWGDM>. Acesso em: 15 fev. 2021.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123; 1988** – Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800; 2008** – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14762; 2010** – Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15253; 2014** – Perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico, para painéis estruturais reticulados em edificações – Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2014.

CITIWOOD. **Placa de Strand Orientada**, catálogo técnico. 2021. Disponível em: [https://Oriented Strand Board \(OSB\) | Citiwood](https://Oriented Strand Board (OSB) | Citiwood) . Acesso em Abril de 2021.

VOCÊCONSTRÓI. **Placa Gesso**, catálogo técnico. 2021. Disponível em: [https:// Você Constrói - Seu espaço da construção \(voceconstroi.com.br\)](https://Você Constrói - Seu espaço da construção (voceconstroi.com.br)). Acesso em Abril de 2021.

APÊNDICE

Apêndice A - Perfis padrão utilizados no software

mCalcLSF :: C:\Users\tamys\Desktop\novo.lsf

Estrutura | Cargas Padrão | Ação do Vento | Interface | Projeto | Revestimento

Elemento	Nome do Perfil
Montante	UENR 90 x 40 x 12 x 0.95
Guia	[92 x 40 x 0.95
Viga	CA 120 x 40 x 12 x 0.95
Contravento	RET 35 x 0.95
Bloqueador	[92 x 40 x 0.95
Espigão/Rincão	CA 120 x 40 x 12 x 0.95
Banzos Treliças	[90 x 40 x 0.95
Diagonais Treliças	[90 x 40 x 0.80
Espelho do Beiral	[90 x 40 x 0.95
Cumeeira	[90 x 40 x 0.95
Oitão Banzo	[90 x 40 x 0.95
Terça	CART 30 x 40 x 12 x 0.8
Longarina	CART 30 x 40 x 12 x 0.8
Tacaniça	[90 x 40 x 0.95
Viga Externa	CA 120 x 40 x 12 x 0.95
Viga Externa Lateral	UENR 120 x 40 x 12 x 0.95
Sanefa	[120 x 40 x 0.95

Travamentos

Placas restringindo a distorção dos painéis:

Painéis Externos ?

Painéis Internos ?

Placas reduzindo comprimento de flambagem:

Painéis Externos ?

Painéis Internos ?

Comprimento Flambagem 500 mm

Edição de painéis

Duplicar montante de apoio do contraventamento

Ligação entre painéis

Parafusos sextavados a cada 300 mm

Bitola 4.2 (n°8) x 13(1/2")

Ligação entre montante e guia

Parafusos flangeados a cada 300 mm

Bitola 4.2 (n°8) x 13(1/2")

Aço

ZAR-230 (fy=230MPa ,fu=310MPa)

Selecionar

Salvar como Padrão

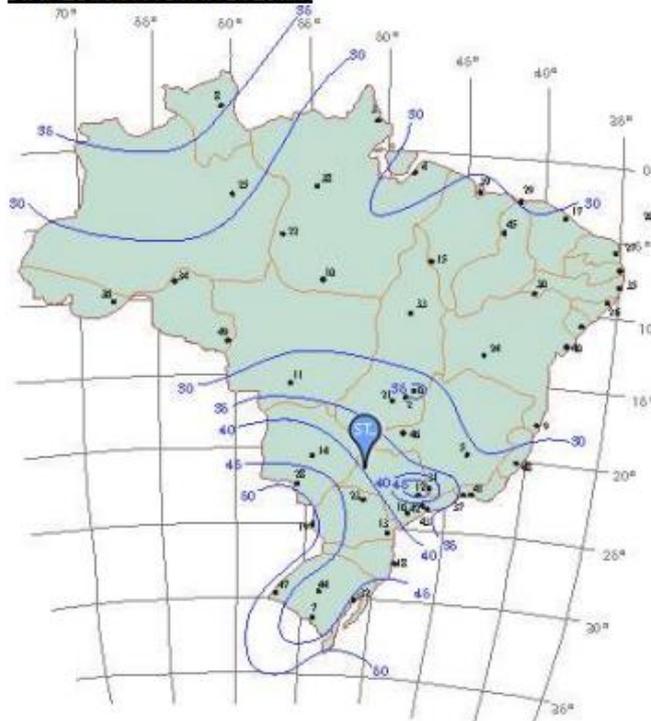
Ok Cancelar

Apêndice B - Relatório da ação do vento na edificação

3. AÇÃO DO VENTO NA EDIFICAÇÃO

3.1. DETERMINAÇÃO DA PRESSÃO DINÂMICA DO VENTO

3.1.1. Velocidade básica do vento



$V_0 = 40 \text{ m/s}$

3.1.2. Fator topográfico S_1

$S_1 = 1,00$ Terreno plano ou fracamente acidentado

3.1.3. Fator que relaciona rugosidade, dimensões da edificação e altura sobre o terreno S_2

Rugosidade do terreno: categoria IV
 Dimensões da edificação: classe A
 $Z = 2,80 \text{ m}$ Altura acima do terreno
 $S_2 = 0,79$

3.1.4. Fator estatístico S_3

Edificação Grupo 2
 $S_3 = 1,00$

3.1.5. Pressão dinâmica

$V_0 = 40 \text{ m/s}$ Velocidade básica do vento
 $V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 = 31,65 \text{ m/s}$ Velocidade característica do vento

$$q = 0,613 \cdot V_k^2 = 62.63 \text{ kgf/m}^2$$

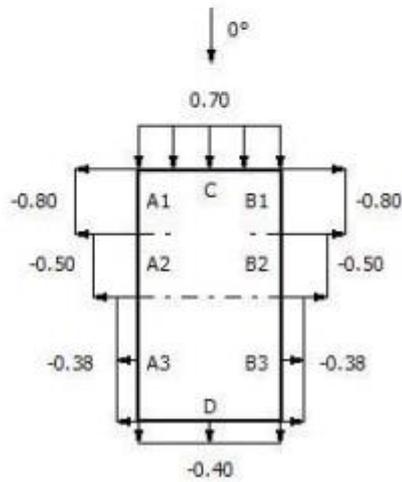
3.2. COEFICIENTES DE FORMA EXTERNO PARA PAREDES DE EDIFICAÇÕES DE PLANTA RETANGULAR

Vento a 0°

$a = 13.76 \text{ m}$ Maior dimensão horizontal da edificação
 $b = 9.77 \text{ m}$ Menor dimensão horizontal da edificação
 $h = 2.80 \text{ m}$ Altura da edificação

$$a_1 = \text{Max} \left(\frac{b}{3}; \frac{a}{4} \right) \leq 2 \cdot h = 3.44 \text{ m}$$

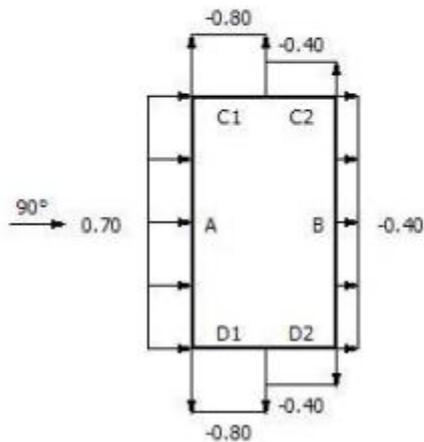
$$a_2 = \frac{a}{2} - a_1 = 3.44 \text{ m}$$



Vento a 90°

$a = 13.76 \text{ m}$ Maior dimensão horizontal da edificação
 $b = 9.77 \text{ m}$ Menor dimensão horizontal da edificação
 $h = 2.80 \text{ m}$ Altura da edificação

$$b_1 = \text{Min} \left(\frac{b}{2}; 2 \cdot h \right) = 4.88 \text{ m}$$



3.3. COEFICIENTES DE FORMA EXTERNO PARA TELHADOS COM DUAS ÁGUAS EM EDIFICAÇÕES DE PLANTA RETANGULAR

Vento a 0°

↓ 0°	
E -0,80	G -0,80
F -0,40	H -0,40
I -0,32	J -0,32

Vento a 90°

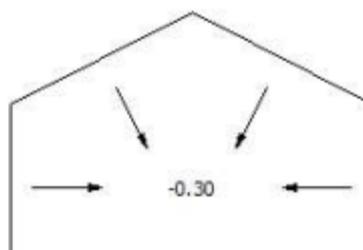
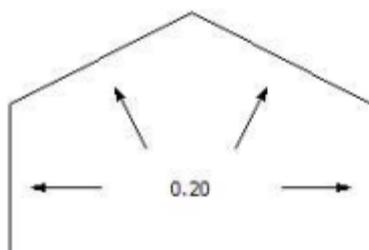
→ 90°	
E -0,80	G -0,40
F -0,80	H -0,40
I -0,80	J -0,40

3.4. COEFICIENTES DE PRESSÃO INTERNA

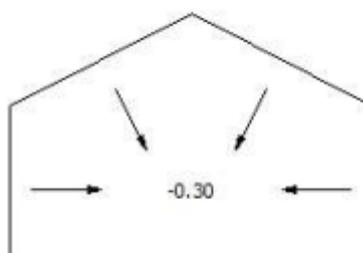
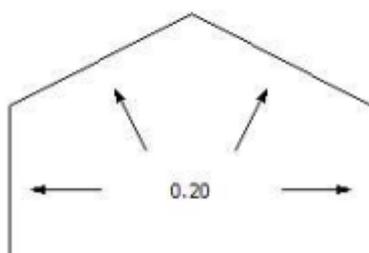
Duas faces opostas igualmente permeáveis; as outras faces impermeáveis:

- vento perpendicular a uma face permeável: $C_{pi} = +0,2$
- vento perpendicular a uma face impermeável: $C_{pi} = -0,3$

Vento a 0°



Vento a 90°



Apêndice C - Tabela referente ao fator S3 – ABNT NBR 6123; 1988

Tabela 3 - Valores mínimos do fator estatístico S_3

Grupo	Descrição	S_3
1	Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros e de forças de segurança, centrais de comunicação, etc.)	1,10
2	Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação	1,00
3	Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais, etc.)	0,95
4	Vedações (telhas, vidros, painéis de vedação, etc.)	0,88
5	Edificações temporárias. Estruturas dos grupos 1 a 3 durante a construção	0,83

Apêndice D - Combinações de ações ELU e ELS analisadas

Combinções de Ações		Estados de Ações			
		E.L.U.	Fator de Combinação		E.L.S.
<input type="checkbox"/>	Estado1	γ 0,0	ψ_0 0,0	$\psi_{1,2}$ 0,0	
<input checked="" type="checkbox"/>	AP Entrepiso	γ 1,4	ψ_0 1,0	$\psi_{1,2}$ 1,0	
<input checked="" type="checkbox"/>	AP Parede	γ 1,4	ψ_0 1,0	$\psi_{1,2}$ 1,0	
<input checked="" type="checkbox"/>	SC Entrepiso	γ 1,5	ψ_0 1,0	$\psi_{1,2}$ 1,0	
<input checked="" type="checkbox"/>	AP Telhado	γ 1,4	ψ_0 1,0	$\psi_{1,2}$ 1,0	
<input checked="" type="checkbox"/>	SC Telhado	γ 1,5	ψ_0 1,0	$\psi_{1,2}$ 1,0	
<input type="checkbox"/>	V0	γ 0,0	ψ_0 0,0	$\psi_{1,2}$ 0,0	
<input type="checkbox"/>	V90	γ 0,0	ψ_0 0,0	$\psi_{1,2}$ 0,0	
<input type="checkbox"/>	V180	γ 0,0	ψ_0 0,0	$\psi_{1,2}$ 0,0	
<input type="checkbox"/>	V270	γ 0,0	ψ_0 0,0	$\psi_{1,2}$ 0,0	

Adicionar Excluir Atualizar Favoritos

Combinções de Ações		Estados de Ações			
		E.L.U.	Fator de Combinação		E.L.S.
<input type="checkbox"/>	Estado1	γ 0,0	ψ_0 0,0	$\psi_{1,2}$ 0,0	
<input checked="" type="checkbox"/>	AP Entrepiso	γ 1,0	ψ_0 1,0	$\psi_{1,2}$ 1,0	
<input checked="" type="checkbox"/>	AP Parede	γ 1,0	ψ_0 1,0	$\psi_{1,2}$ 1,0	
<input type="checkbox"/>	SC Entrepiso	γ 0,0	ψ_0 0,0	$\psi_{1,2}$ 0,0	
<input checked="" type="checkbox"/>	AP Telhado	γ 1,0	ψ_0 1,0	$\psi_{1,2}$ 1,0	
<input type="checkbox"/>	SC Telhado	γ 0,0	ψ_0 0,0	$\psi_{1,2}$ 0,0	
<input checked="" type="checkbox"/>	V0	γ 1,4	ψ_0 1,0	$\psi_{1,2}$ 1,0	
<input type="checkbox"/>	V90	γ 1,0	ψ_0 1,0	$\psi_{1,2}$ 1,0	
<input type="checkbox"/>	V180	γ 0,0	ψ_0 0,0	$\psi_{1,2}$ 0,0	
<input type="checkbox"/>	V270	γ 0,0	ψ_0 0,0	$\psi_{1,2}$ 0,0	

Adicionar Excluir Atualizar Favoritos

Combinções de Ações		Estados de Ações			
		E.L.U.	Fator de Combinação		E.L.S.
<input type="checkbox"/>	Estado1	γ 0,0	ψ_0 0,0	$\psi_{1,2}$ 0,0	
<input checked="" type="checkbox"/>	AP Entrepiso	γ 1,0	ψ_0 1,0	$\psi_{1,2}$ 1,0	
<input checked="" type="checkbox"/>	AP Parede	γ 1,0	ψ_0 1,0	$\psi_{1,2}$ 1,0	
<input type="checkbox"/>	SC Entrepiso	γ 1,0	ψ_0 1,0	$\psi_{1,2}$ 1,0	
<input checked="" type="checkbox"/>	AP Telhado	γ 1,0	ψ_0 1,0	$\psi_{1,2}$ 1,0	
<input type="checkbox"/>	SC Telhado	γ 1,0	ψ_0 1,0	$\psi_{1,2}$ 1,0	
<input type="checkbox"/>	V0	γ 0,0	ψ_0 0,0	$\psi_{1,2}$ 0,0	
<input checked="" type="checkbox"/>	V90	γ 1,4	ψ_0 1,0	$\psi_{1,2}$ 1,0	
<input type="checkbox"/>	V180	γ 0,0	ψ_0 0,0	$\psi_{1,2}$ 0,0	
<input type="checkbox"/>	V270	γ 0,0	ψ_0 0,0	$\psi_{1,2}$ 0,0	

Adicionar Excluir Atualizar Favoritos

Opções para análise de 2ª ordem

Combinções de Ações

Combinção 1
Combinção 2
Combinção 3
Combinção 4
Combinção 5

Adicionar Excluir Atualizar Favoritos

Estados de Ações	E.L.U.	Fator de Combinação	E.L.S.
<input type="checkbox"/> Estado1	γ 0.0	Ψ_0 0.0	$\Psi_{1,2}$ 0.0
<input checked="" type="checkbox"/> AP Entrepiso	γ 1.0	Ψ_0 1.0	$\Psi_{1,2}$ 1.0
<input checked="" type="checkbox"/> AP Parede	γ 1.0	Ψ_0 1.0	$\Psi_{1,2}$ 1.0
<input type="checkbox"/> SC Entrepiso	γ 0.0	Ψ_0 0.0	$\Psi_{1,2}$ 0.0
<input checked="" type="checkbox"/> AP Telhado	γ 1.0	Ψ_0 1.0	$\Psi_{1,2}$ 1.0
<input type="checkbox"/> SC Telhado	γ 0.0	Ψ_0 0.0	$\Psi_{1,2}$ 0.0
<input type="checkbox"/> V0	γ 1.0	Ψ_0 1.0	$\Psi_{1,2}$ 1.0
<input type="checkbox"/> V90	γ 0.0	Ψ_0 0.0	$\Psi_{1,2}$ 0.0
<input checked="" type="checkbox"/> V180	γ 1.0	Ψ_0 1.0	$\Psi_{1,2}$ 1.0
<input type="checkbox"/> V270	γ 0.0	Ψ_0 0.0	$\Psi_{1,2}$ 0.0

Combinções de Ações

Combinção 1
Combinção 2
Combinção 3
Combinção 4
Combinção 5

Adicionar Excluir Atualizar Favoritos

Estados de Ações	E.L.U.	Fator de Combinação	E.L.S.
<input type="checkbox"/> Estado1	γ 0.0	Ψ_0 0.0	$\Psi_{1,2}$ 0.0
<input checked="" type="checkbox"/> AP Entrepiso	γ 1.0	Ψ_0 1.0	$\Psi_{1,2}$ 1.0
<input checked="" type="checkbox"/> AP Parede	γ 1.0	Ψ_0 1.0	$\Psi_{1,2}$ 1.0
<input type="checkbox"/> SC Entrepiso	γ 0.0	Ψ_0 0.0	$\Psi_{1,2}$ 0.0
<input checked="" type="checkbox"/> AP Telhado	γ 1.0	Ψ_0 1.0	$\Psi_{1,2}$ 1.0
<input type="checkbox"/> SC Telhado	γ 0.0	Ψ_0 0.0	$\Psi_{1,2}$ 0.0
<input type="checkbox"/> V0	γ 0.0	Ψ_0 0.0	$\Psi_{1,2}$ 0.0
<input type="checkbox"/> V90	γ 0.0	Ψ_0 0.0	$\Psi_{1,2}$ 0.0
<input type="checkbox"/> V180	γ 1.0	Ψ_0 1.0	$\Psi_{1,2}$ 1.0
<input checked="" type="checkbox"/> V270	γ 1.0	Ψ_0 1.0	$\Psi_{1,2}$ 1.0

Apêndice E – Exemplo do detalhamento do dimensionamento de algumas barras

Unidades: kN-m

Barra		Normal	Cortante Y	Cortante Z	Momento X	Momento Y	Momento Z	Eq. Int. Max.	Comp.	Dimensionamento
1	Sol.	0	0	0	0	0	0	0	0.49	[92 x 40 x 0.95
	Res.	30.02	9.08	8	0	0.63	0.17			
	Sd/Rd	---	0	0	---	0	0			
2	Sol.	0.53	-0.13	0.3	0	0.08	0.02	0.16	0.28	UENR 90 x 40 x 12 x 0.95
	Res.	18.58	8.63	8.09	0	1.02	0.31			
	Sd/Rd	0.03	-0.02	0.04	---	0.08	0.05			
3	Sol.	0.53	-0.1	0.04	0	0.22	0.05	0.41	0.2	UENR 90 x 40 x 12 x 0.95
	Res.	14.36	8.63	8.09	0	1.02	0.29			
	Sd/Rd	0.04	-0.01	0.00	---	0.22	0.16			
4	Sol.	0.16	0	0	0	0	0	0.01	0.49	[92 x 40 x 0.95
	Res.	13.92	9.08	8	0	0.63	0.17			
	Sd/Rd	0.01	0	0	---	0	0			
5	Sol.	0.42	-0.06	-7.01E-3	0	-8.42E-3	0.07	0.26	1.2	UENR 90 x 40 x 12 x 0.95
	Res.	18.23	8.63	8.09	0	1.02	0.31			
	Sd/Rd	0.02	-0.01	0	---	-0.01	0.23			
6	Sol.	0.42	0.1	-7.01E-3	0	-0.01	0.07	0.26	0.75	UENR 90 x 40 x 12 x 0.95
	Res.	22.87	8.63	8.09	0	1.02	0.31			
	Sd/Rd	0.02	0.01	0	---	-0.01	0.23			
7	Sol.	0.78	-0.04	-7.29E-3	0	-0.02	0.02	0.11	0.6	UENR 90 x 40 x 12 x 0.95
	Res.	24.09	8.63	8.09	0	1.02	0.31			
	Sd/Rd	0.03	0.00	0	---	-0.02	0.06			
[...]										
3450	Sol.	1.13	-0.03	-0.07	0	-0.02	0	0.12	0.04	[92 x 40 x 0.95
	Res.	14.81	9.08	8	0	0.63	0.17			
	Sd/Rd	0.08	0.00	-0.01	---	-0.03	0			
3451	Sol.	-1.87E-3	-3.7E-3	0.26	0	0.15	1.92E-3	0.24	0.56	[92 x 40 x 0.95
	Res.	30.02	9.08	8	0	0.63	0.17			
	Sd/Rd	0	0	0.03	---	0.23	0.01			
3452	Sol.	-1.99E-3	0.04	0.26	0	0.3	-0.02	0.52	0.6	[92 x 40 x 0.95
	Res.	30.02	9.08	8	0	0.63	0.49			
	Sd/Rd	0	0.00	0.03	---	0.48	-0.04			
3453	Sol.	-0.36	-1.01E-3	0.32	0	-0.2	-1.17E-3	0.33	0.6	[92 x 40 x 0.95
	Res.	30.02	9.08	8	0	0.63	0.49			
	Sd/Rd	0.01	0	0.04	---	-0.32	0.00			
3454	Sol.	-0.36	-9.01E-3	0.32	0	0.18	4.84E-3	0.33	0.6	[92 x 40 x 0.95
	Res.	30.02	9.08	8	0	0.63	0.17			
	Sd/Rd	0.01	0	0.04	---	0.29	0.03			
3455	Sol.	-0.36	0.04	0.32	0	0.38	-0.02	0.64	0.6	[92 x 40 x 0.95
	Res.	30.02	9.08	8	0	0.63	0.49			
	Sd/Rd	0.01	0.00	0.04	---	0.59	-0.04			
3456	Sol.	0.8	-0.2	-0.02	0	0.01	0.09	0.59	0.52	[92 x 40 x 0.95
	Res.	13.81	9.08	8	0	0.63	0.17			
	Sd/Rd	0.06	-0.02	0.00	---	0.02	0.52			