



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS TERESINA CENTRAL**

CURSO BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

CAIO VÍTOR ALVES FEITOSA

**PROJETO DE UMA ESTRUTURA EM AÇO DE TRÊS PAVIMENTOS PARA
EDIFÍCIO GARAGEM NO IFPI: CAMPUS TERESINA CENTRAL**

TERESINA – PI

2019

CAIO VÍTOR ALVES FEITOSA

PROJETO DE UMA ESTRUTURA EM AÇO DE TRÊS PAVIMENTOS PARA
EDIFÍCIO GARAGEM NO IFPI: CAMPUS TERESINA CENTRAL

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como exigência parcial para
obtenção do diploma do Curso de Bacharel
em Engenharia Mecânica do Instituto
Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Piauí. Campus Teresina
Central.

Orientador: Prof. Dr. Helder Pontes Gomes

TERESINA

2019

FICHA CATALOGRÁFICA

Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente com dados fornecidos pelo(a) autor(a)

F311 Feitosa, Caio Vítor Alves
p PROJETO DE UMA ESTRUTURA EM AÇO DE TRÊS PAVIMENTOS PARA
EDIFÍCIO GARAGEM NO IFPI: CAMPUS TERESINA CENTRAL / Caio Vítor Alves
Feitosa - 2019.
124 p. : il. color.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) - Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Teresina Central, Bacharelado em Engenharia
Mecânica, 2019.

Orientador : Prof Dr. Helder Pontes Gomes.

1. Projeto. 2. Edifício garagem. 3. Estrutura em aço. I.Título.

CDD 620

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: “PROJETO DE UMA ESTRUTURA EM AÇO DE TRÊS PAVIMENTOS PARA EDIFÍCIOS GARAGEM NO IFPI CAMPUS TERESINA CENTRAL

ALUNO: CAIO VÍTOR ALVES FEITOSA

DATA: 30 de Janeiro de 2019

Este trabalho foi julgado adequado e apropriado para a obtenção do título de graduação em Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí.

Assinatura no original

Prof. Msc. Anderson Felipe Chaves Fortes
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

COMISSÃO EXAMINADORA

Assinatura no original

Prof. Dr. Helder Pontes Gomes
Orientador
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Assinatura no original

Prof^a. Msc. Luciane Noberto Menezes de Araújo
Instituto Federal do Maranhão (IFMA)
Avaliadora

Assinatura no original

Prof^a. Msc. Simone dos Santos Hoefel
Universidade Federal do Piauí (UFPI)
Avaliadora

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, ao longo de minha vida. Minha mãe, Maria das Graças Bezerra Alves Feitosa, heroína que sempre me incentivou e me deu apoio nos momentos mais difíceis durante o curso. Meu pai, Antônio Alves Feitosa Neto, que foi muito importante também nessa jornada, fazendo todo o possível para que nada faltasse para mim, mesmo morando longe deles. Obrigado minha irmã Raíssa Alves Feitosa, por conviver comigo e me ajudar nessa jornada de 5 anos. Obrigado também aos meus primos Antônio Neto, Guilherme, por conviver próximo a mim nos últimos anos e proporcionar momentos de lazer. Agradeço também ao meu primo Paulo Henrique por ter me dado apoio nesse momento decisivo da minha vida.

Agradeço aos meus colegas de sala de aula, por serem companheiros e dividir comigo os melhores e piores momentos durante a graduação, em especial ao Maxwell pela parceria no ensino médio e também no superior, ao Rafael Jarbas e Pedro Augusto ter feito novas amizades na instituição. Agradeço aos professores e servidores do IFPI, Campus Teresina Central, por me proporcionarem não apenas o conhecimento racional, mas a manifestação de caráter e efetividade da educação no processo de formação profissional. Agradeço meu orientador Prof. Dr. Hélder Pontes, pela orientações e apoio em praticamente todos os dias em que estava realizando este trabalho.

Agradeço aos meus amigos conterrâneos que compartilham comigo os melhores momentos em Teresina nos finais de semana. Agradeço em particular meu amigo Ronald por ser sempre esse parceiro de todos os dias e também por ter me ajudado com algumas dicas no meu projeto.

“Fazendo a mesma coisa dia após dia, não há de se esperar resultados diferentes”

Albert Einstein.

RESUMO

O presente trabalho tem como finalidade projetar uma alternativa de edifício garagem para o Instituto Federal do Piauí, Campus Teresina Central, com estruturas em aço contendo três pavimentos. A motivação para esse projeto refere-se a falta de vagas no estacionamento interno da instituição, prejudicando assim muitos servidores que não encontram vagas para estacionar. A opção por este tipo de estrutura deve-se a uma série de benefícios que o aço proporciona na construção civil como redução no tempo de construção com a utilização de estruturas pré-moldadas e um alto grau de segurança. Dessa maneira, no local do atual estacionamento realizou-se um estudo de concepção estrutural, de forma a obter o melhor arranjo para a estrutura no espaço disponível, seguindo as regras do código de obras de Teresina. Após o término da concepção estrutural, realizou-se o pré-dimensionamento dos perfis e em seguida a simulação da estrutura no software de cálculo estrutural Cype 3D, que utiliza o método dos estados limites para tal. Nesse projeto, a principal norma utilizada foi a ABNT NBR 8800:2008 (Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios). Apenas a superestrutura foi dimensionada neste trabalho. O edifício garagem é dividido em galpão, escada de acesso e rampa de acesso para os veículos. Os perfis laminados em alma cheia são para vigas e pilares com ligações parafusadas, e para banzos, montantes e terças de cobertura com ligações soldadas. Dessa forma, a estrutura do edifício garagem foi dimensionada corretamente, atendendo a todas as normas exigidas para o projeto.

Palavras-chave: Projeto. Edifício garagem. Estrutura em aço.

ABSTRACT

The present work aims to design an alternative garage building for the Federal Institute of Piauí, Campus Teresina Central, with steel structures containing three floors. The motivation for this project refers to the lack of vacancies in the internal parking of the institution, thus damaging many servers that do not find places to park. The option for this type of structure is due to a series of benefits that steel provides in construction as a reduction in construction time with the use of precast structures and a high degree of safety. Thus, in the place of the current parking, a structural design study was carried out, in order to obtain the best arrangement for the structure in the available space, following the rules of the Teresina code of works. After the structural design was finished, the profiles were pre-sizing and then the structure simulation in the Cype 3D structural calculation software, which uses the boundary states method to do so. In this project, the main standard used was ABNT NBR 8800: 2008 (Design of steel structures and mixed structures of steel and concrete of buildings). Only the superstructure was dimensioned in this work. The building garage is divided into shed, access ladder and ramp access for vehicles. Full-grain rolled profiles are for stud bolted joists and posts, and for battens, uprights and welded lugs. In this way, the garage building structure was dimensioned correctly meeting all the standards required for the project.

Keywords: Project. Building garage. Steel structure.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	– Edifício garagem América (16 andares), o primeiro estacionamento vertical.....	21
Figura 2	– Edifício Home Insurance Building durante a construção e finalizado.....	22
Figura 3	– Perfis de chapa dobrada: (a) perfil U, (b) perfil complexo, (c) perfil S, (d) perfil Z	29
Figura 4	– Perfis compostos de chapas ou de perfis laminados.....	30
Figura 5	– Haste em tração simples.....	30
Figura 6	– Diagrama tensão-deformação de um aço.....	31
Figura 7	– Ligação soldada entre viga-pilar.....	33
Figura 8	– Ligação parafusada.....	35
Figura 9	– Apoio de 1º gênero.....	37
Figura 10	– Apoio de 2º gênero.....	37
Figura 11	– Apoio de 3º gênero.....	38
Figura 12	– Tipos de colunas de alma cheia – (a) perfil tubular, (b) perfil H, (c) perfil soldado composto, (d), (e) e (f) composição de perfis laminados	39
Figura 13	– Tipos de colunas de alma cheia – (a) treliças Warren, (b) treliças Pratt, (c) treliças com diagonais cruzadas, (d) talas para união, (e) chapas vazadas.....	40
Figura 14	– Estrutura com pórtico contendo colunas e vigas em alma cheia....	41
Figura 15	– Representação do tipo de estrutura com coluna simples e tesoura	42
Figura 16	– Terças de cobertura.....	43
Figura 17	– Disposição da cumeeira.....	43
Figura 18	– Tirante entre terças.....	44
Figura 19	– Contraventamento horizontal e vertical.....	44
Figura 20	– Pórtico plano.....	45
Figura 21	– Treliza plana.....	45
Figura 22	– Treliza espacial.....	46
Figura 23	– Grelha.....	46

Figura 24	– Edifício industrial com colunas e vigas em alma cheia.....	47
Figura 25	– Edifício com sistema de cobertura treliçado.....	48
Figura 26	– Edifício industrial em duas águas, geminado.....	48
Figura 27	– Edifício industrial em quatro meias-águas, geminado.....	49
Figura 28	– Cobertura em arco treliçado.....	49
Figura 29	– Rampa reta de acesso simples.....	50
Figura 30	– Isopletas de velocidade do vento.....	52
Figura 31	– NBR 6123 – Valores mínimos do fator estatístico S_3	53
Figura 32	– Ábaco para pré-dimensionamento de pórticos planos.....	57
Figura 33	– Elementos tracionados.....	58
Figura 34	– Colunas de seção simples e de seção múltipla sujeitos compressão	60
Figura 35	– Coeficiente de flambagem por flexão de elementos isolados.....	62
Figura 36	– Vista 3D	65
Figura 37	– Planta do estacionamento em metros.....	67
Figura 38	– Vista 2D frontal do galpão.....	70
Figura 39	– Vista 2D da lateral do galpão.....	71
Figura 40	– Vista 2D das vigas principais e secundárias do mezanino.....	71
Figura 41	– Treliza de cobertura.....	72
Figura 42	– Vista 2D da cobertura.....	72
Figura 43	– Vista 2D da rampa de acesso para os veículos.....	73
Figura 44	– Vista isométrica da escada de acesso.....	74
Figura 45	– Características geométricas e áreas de abertura da estrutura.....	76
Figura 46	– Coeficiente de pressão externa para 0° e 90° (paredes).....	77
Figura 47	– Coeficiente de pressão externa para 0° e 90° (telhado).....	77
Figura 48	– Combinação dos coeficientes de pressão para 0° e 90°.....	78
Figura 49	– Esforços resultantes para 0° e 90°.....	78
Figura 50	– Laje tipo Steel Deck.....	79
Figura 51	– Laje Steel Deck com armadura e preenchida de concreto.....	80
Figura 52	– Telha em aço galvanizado tipo trapezoidal.....	81
Figura 53	– Lançamento da estrutura.....	82
Figura 54	– Vista isométrica do edifício garagem no Cype 3D.....	82

Figura 55	– Projeto arquitetônico do edifício garagem.....	84
Figura 56	– Galpão.....	85
Figura 57	– Rampa de acesso aos veículos.....	86
Figura 58	– Cobertura.....	87
Figura 59	– Treliça.....	87
Figura 60	– Escada de acesso.....	88
Figura 61	– Edifício garagem.....	89
Figura 62	– Vista 3D da ligação Viga-Pilar-Viga.....	93
Figura 63	– Ligação Viga-Viga.....	96
Figura 64	– Ligação Pilar – Fundação.....	98
Figura 65	– Vista superior dos pilares do edifício garagem.....	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Constantes físicas do aço.....	25
Tabela 2	– Características geométricas dos perfis.....	28
Tabela 3	– Classificação dos componentes estruturais	36
Tabela 4	– Dimensões mínimas de vagas e vias em estacionamentos.....	67
Tabela 5	– Ações atuantes na estrutura	75
Tabela 6	– Nome das ações consideradas no cálculo.....	75
Tabela 7	– Característica das lajes	80
Tabela 8	– Característica da telha selecionada	81
Tabela 9	– Coeficientes de combinação	83
Tabela 10	– Propriedades do material	89
Tabela 11	– Lista dos perfis utilizados no edifício garagem.....	90
Tabela 12	– Quantidade de solda	90
Tabela 13	– Quantidade de parafusos.....	91
Tabela 14	– Quantidade de chapas	91
Tabela 15	– Quantidade de placas de base	92
Tabela 16	– Descrição dos perfis (viga-pilar-viga)	93
Tabela 17	– Descrição dos elementos complementares (viga-pilar viga).....	93
Tabela 18	– Descrição dos parafusos (viga-pilar-viga)	94
Tabela 19	– Verificação de resistência do pilar (viga-pilar-viga)	95
Tabela 20	– Verificação de resistência da viga (a) (viga-pilar-viga)	96
Tabela 21	– Verificação de resistência da viga (b) (viga-pilar-viga)	96
Tabela 22	– Descrição dos componentes (viga-viga)	97
Tabela 23	– Elementos complementares (viga-viga)	97
Tabela 24	– Parafuso para ligação (viga-viga)	97
Tabela 25	– Verificação de resistência (viga-viga)	97
Tabela 26	– Verificação de resistência (viga-viga).....	98
Tabela 27	– Solda, chapas e parafusos (viga-viga).....	98
Tabela 28	– Descrição dos componentes (pilar- fundação).....	99

Tabela 29	– Característica da solda (pilar- fundação)	99
Tabela 30	– Verificação de cordões de soldadura (pilar- fundação).....	99
Tabela 31	– Verificação de placa de ancoragem (pilar- fundação).....	100
Tabela 32	– Quantidade de solda (pilar-fundação).....	101
Tabela 33	– Quantidade de placas de base (pilar-fundação)	101
Tabela 34	– Reações nos pilares	102
Tabela 35	– Quantidade de vagas no estacionamento do edifício garagem	103

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AISI	American Iron and Steel Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
AWS	American Welding Society
CBCA	Centro Brasileiro da Construção em Aço
ELS	Estados-limites de serviço
ELU	Estados-limites últimos
FCAW	Flux-cored arc welding
FEM	Fábrica de estruturas metálicas
FLA	Flambagem local da alma
FLM	Flambagem local da mesa
FLT	Flambagem lateral com torção
GMAW	Gas Metal Arc Welding
ISO	International Organization for Standardization
NBR	Norma Brasileira
SAE	Society of Automotive Engineers
SAW	Submerged arc welding
SMAW	Shielded Metal Arc Welding

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Área da seção transversal
A_n	Área líquida da barra
A_g	Área bruta da seção transversal da barra
A_{fn}	Área líquida da mesa tracionada
A_{fg}	Área bruta da mesa tracionada
A_e	Área líquida efetiva da seção transversal da barra
α_t	Coefficiente de dilatação
C_t	Coefficiente de redução da área líquida
E	Módulo de elasticidade
F	Força
G	Módulo de corte
G_k	Ação permanente
γ_g	Coefficiente parcial de segurança das ações permanentes
γ_p	Coefficiente parcial de segurança da ação de pré-esforço
$\gamma_{Q,1}$	Coefficiente parcial de segurança da ação variável principal
$\gamma_{Q,i}$	Coefficiente parcial de segurança das ações variáveis de acompanhamento
g	Peso específico
f_y	Resistencia ao escoamento
f_u	Resistencia à ruptura;
K	Coefficiente de flambagem
L	Comprimento destravado
M_{Sd}	Momento fletor solicitante
M_{Rd}	Momento fletor resistente
$N_{t,Sd}$	Força axial de tração solicitante
$N_{t,Rd}$	Força axial de tração resistente

$N_{c,Sd}$	Força axial de compressão solicitante
$N_{c,Rd}$	Força axial de compressão resistente
N_e	Força axial de flambagem elástica
ν	Módulo de Poisson
P_k	Ação de pré-esforço
Q	Fator de redução total associado à flambagem local
Q_k	Ação variável
q	Pressão dinâmica
R_d	Esforços resistentes
r	Raio de giração
S_d	Ações atuantes obtidos nas combinações ultimas
S_{ser}	Efeitos estruturais obtidos nas combinações de serviço das ações;
S_{lim}	Valores-limites para deslocamentos máximos
V_k	Velocidade característica
V_{Sd}	Força cortante solicitante
V_{Rd}	Força cortante resistente
χ	Fator de redução associado à resistência à compressão
Y_t	Coeficiente de segurança
$\psi_{p,1}$	Coeficiente de combinação da ação variável principal
$\psi_{p,1}$	Coeficiente de combinação das ações variáveis de acompanhamento
W	Módulo de resistência elástica mínima da seção transversal da barra em relação ao eixo de flexão
W_t	Módulo de resistência elástico ao lado tracionado da seção em relação ao eixo de flexão
σ	Tensão
ϵ	Deformação
ℓ_0	Comprimento inicial da haste
λ_0	Índice de esbeltez reduzido

- γ_{a1} Coeficiente de ponderação relacionado ao escoamento, flambagem e instabilidade
- γ_{a2} Coeficiente de ponderação relacionado à ruptura

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	20
1.1 OBJETIVOS DO TRABALHO.....	22
1.2 JUSTIFICATIVA.....	23
1.3 REFERENCIAL TEÓRICO	23
1.3.1 O aço	24
1.3.1.1 Definições.....	24
1.3.1.2 Constantes físicas	25
1.3.1.3 Propriedades do aço	25
1.3.1.4 Classificação	26
1.3.2 Aços estruturais	26
1.3.2.1 Vantagens e desvantagens do aço estrutural.....	27
1.3.2.2 Perfis estruturais	27
1.3.2.3 Diagrama tensão-deformação	30
1.3.3 Ligações de peças metálicas	32
1.3.3.1 Ligação Soldada.....	32
1.3.3.2 Ligação parafusada	34
1.3.4 Estruturas.....	35
1.3.4.1 Classificação dos componentes	36
1.3.4.2 Definições dos componentes estruturais	38
1.3.4.3 Pórticos, Treliças e Grelhas.....	45
1.3.5 Edifícios industriais	47
1.3.5.1 Edifício Garagem.....	50
1.3.6 Ações na estrutura	50
1.3.6.1 Ações permanentes.....	50
1.3.6.2 Ações variáveis	51
1.3.6.3 Ações excepcionais	51
1.3.6.4 Ação do vento.....	51
1.3.7 Dimensionamento da estrutura	54
1.3.7.1 Método dos estados limites	55
1.3.7.1.1 Condições usuais relativa aos estados-limites últimos (ELU)	55
1.3.7.1.2 Condições usuais relativa aos estados-limites de serviço (ELS).....	55
1.3.7.2 Pré-dimensionamento de barras	56
1.3.7.2.1 Dimensionamento de barras à Tração.....	57
1.3.7.2.2 Dimensionamento de barras à Compressão	59

1.3.7.2.3 Dimensionamento de barras à Flexão.....	62
2. METODOLOGIA	65
2.1 O PROJETO.....	65
2.1.1 Características gerais do projeto.....	66
2.1.2 O código de obras e edificações de Teresina.....	66
2.1.3 Concepção estrutural	69
2.1.3.1 Características do edifício garagem	69
2.1.3.2 Estrutura.....	69
2.1.4 Critérios do dimensionamento	74
2.1.5 Determinação das ações atuantes na estrutura e suas combinações.....	74
2.1.6 Seleção preliminar dos elementos.....	79
2.1.6.1 Perfis estruturais	79
2.1.6.2 Laje.....	79
2.1.6.3 Telha.....	80
2.1.7 Simulação dos elementos no software de cálculo estrutural.....	81
2.1.7.1 Combinações de carga consideradas no cálculo	83
2.1.8 Detalhamento	83
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	84
3.1 EDIFÍCIO GARAGEM.....	84
3.2 ESCOLHA DOS PERFIS.....	89
3.3 SOLDAS.....	90
3.4 PARAFUSOS, CHAPAS E PLACAS DE ANCORAGEM	91
3.5 LIGAÇÕES	92
3.5.1 Ligação Viga-Pilar-Viga	93
3.5.2 Ligação Viga-Viga.....	96
3.5.3 Ligação Pilar - Fundação	98
3.6 REAÇÕES.....	101
3.7 VAGAS DE ESTACIONAMENTO	102
4 CONCLUSÃO	104
REFERÊNCIAS.....	105
APÊNDICE A – LIGAÇÕES.....	108

APÊNDICE B - PLANTA BAIXA DO ESTACIONAMENTO	111
APÊNDICE C – VISTAS DO PROJETO	113
ANEXO A - FATOR TOPOGRÁFICO (S_1)	119
ANEXO B - FATOR DE RUGOSIDADE (S_2)	120
ANEXO C - COEFICIENTES DE PRESSÃO E DE FORMA EXTERNOS PARA PAREDES DE EDIFICAÇÕES DE PLANTA REGULAR	121
ANEXO D - COEFICIENTE DE PRESSÃO PARA OS TELHADOS DE DUAS ÁGUAS SIMÉTRICOS PARA EDIFICAÇÕES DE PLANTA RETANGULAR	122
ANEXO E - VALOR DE χ EM FUNÇÃO DO ÍNDICE DE ESBELTEZ λ_0	123
ANEXO F - ESBOÇO 2D DA ESCADA COM DIMENSÕES EM MILÍMETROS.....	124

1. INTRODUÇÃO

A mobilidade urbana refere-se às condições de deslocamento da população no espaço geográfico das cidades. Devido ao grande índice populacional, é considerada um dos principais desafios de gestão das cidades na atualidade. A frota brasileira de automóveis cresceu 400% em dez anos, conforme dados da FGV (Fundação Getúlio Vargas), numa pesquisa realizada em 2016. Dessa maneira, com o crescimento do número de veículos é perceptível a falta de espaço nas cidades que faz com que seja cada vez mais difícil conseguir um lugar para estacionar.

De acordo com Bevilaqua (2010), um dos principais problemas dos grandes centros urbanos é a falta de vagas de estacionamento para veículos nas ruas devido ao aumento do número destes em conjunto com a falta de estrutura viária que facilite ao usuário o uso do transporte público. Mesmo que sejam bem planejadas, as ruas e avenidas, em algum momento tornam-se estreitas e incapazes de acompanhar o aumento exponencial do número de veículos por habitante e a falta de locais adequados para estacionamento é cada vez mais visível. Dessa forma, uma alternativa para ampliação das áreas de estacionamento em locais de alto fluxo de veículos é a criação de edifícios garagem.

Dessa maneira, com a falta de espaços para estacionamentos, a vaga vertical conta com muitas vantagens. A principal é a possibilidade de crescimento do número de espaços para deixar o carro, um problema que cada vez mais preocupa os condutores. A utilização do aço em estacionamento de multipisos oferece numerosas vantagens como por exemplo o ótimo aproveitamento dos espaços pelo usuário, devido a possibilidade de utilizar grandes vãos e aos reduzidos obstáculos estruturais, economia e rapidez de execução da obra.

Esses edifícios surgiram no início do século XX com a construção do primeiro edifício garagem em estrutura metálica na cidade de Berlim, Alemanha. Nesse edifício os veículos eram transportados para os pisos superiores por meio de elevadores. Entretanto, somente após a segunda guerra mundial, nos anos 50 iniciou-se a construção em larga escala na Europa. No Brasil, a utilização de estruturas metálicas em edificações teve início na segunda metade do século XIX, primeiramente com o uso do ferro fundido e expandiu-se com o decorrer dos anos para o uso do aço

(BANDEIRA, 2008). Na cidade de São Paulo, foi construído em 1957 o primeiro edifício garagem pela FEM – Fábrica de estruturas metálicas (desativada em 1998) como mostra a Figura 1.

Figura 1. Edifício garagem América, o primeiro estacionamento vertical.



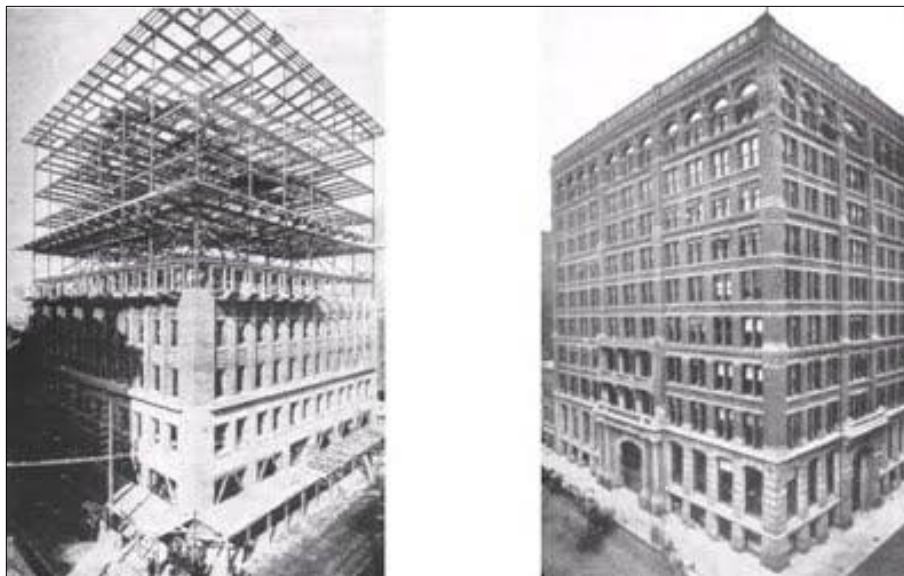
Fonte: Thais Brandão (2017).

Com relação ao aço na construção civil, o interesse maior é nos chamados aços estruturais de média e alta resistência mecânica. Os principais requisitos para os aços destinados à aplicação estrutural são: elevada tensão de escoamento, elevada tenacidade, resistência a corrosão, boa soldabilidade, ductibilidade e outras propriedades que são adequadas para a utilização em elementos da construção sujeitos a carregamentos. O maior grau de industrialização dos aços estruturais, além de proporcionar um resultado perfeito no alinhamento da construção, oferece também a garantia dos materiais serem previamente testados, oferecendo um alto grau de segurança na sua utilização (NARDIN, 2008).

De acordo com Bellei (1998), as primeiras obras em aço, datam de 1750 e seu emprego estrutural foi feito na França por volta de 1780, na escadaria do Louvre e no Teatro de Palais Royal, na Inglaterra, em 1957, onde se fez uma ponte de ferro fundido. Porém, a sua grande utilização nos edifícios deu-se por volta de 1880 nos

Estados Unidos, principalmente em Chicago com o edifício Home Insurance Building, Figura 2.

Figura 2. Edifício Home Insurance Building durante a construção e finalizado.



Fonte: Google Sites (2018).

Desde o século XVIII, quando se iniciou a utilização de estruturas metálicas na construção civil até os dias atuais, o aço tem possibilitado aos arquitetos, engenheiros e construtores, soluções eficientes e seguras. Das primeiras obras aos edifícios ultramodernos que se multiplicaram pelas grandes cidades, a arquitetura em aço sempre esteve associada à ideia de modernidade, inovação e vanguarda.

Segundo o Centro Brasileiro da Construção em Aço (CBCA), na disputa com o concreto armado, o aço já desponta como primeira opção na construção civil, pelo menos nas grandes obras. Nessa concorrência, o aço está chegando ao canteiro de obras em forma de estruturas metálicas pré-moldadas, prontas para uso. "A construção em aço representa atualmente cerca de 15% do universo do setor de edificações no Brasil", diz Carolina Fonseca, gerente executiva do Centro Brasileiro da Construção do Aço (CBCA).

1.1 OBJETIVOS DO TRABALHO

Com o presente trabalho, objetiva-se projetar um edifício garagem composto de térreo mais três pavimentos localizado no Instituto Federal do Piauí, Campus Teresina Central, como forma de suprir a falta de vagas no estacionamento interno da

instituição.

Para esse projeto, a principal norma utilizada foi a ABNT NBR 8800 (Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios). As normas NBR 6120 (Cargas para o cálculo de estruturas de edificações) e NBR 6123 (Forças devido ao vento em edificações) também foram consultadas.

1.2 JUSTIFICATIVA

No Instituto Federal do Piauí, Campus Teresina Central, é notória a falta vagas no estacionamento interno da instituição. Assim, parte dos motoristas que se dirigem ao campus e não encontram vagas dentro da instituição, acabam deixando seus veículos estacionados em locais não apropriados, como por exemplo, próximo ao portão principal, prejudicando o fluxo na entrada e saída de outros veículos. Além disso, os motoristas que não encontram vagas estacionam seus veículos nas ruas próximas ao campus, ocasionando uma situação de grande risco para a segurança dos mesmos, pois praticamente todos possuem aparelhos eletrônicos que são utilizados em sala de aula, como por exemplo notebook, tablet, datashow, celular etc.

Por conseguinte, devido esse projeto estar localizado dentro de uma instituição onde há um grande fluxo de pessoas e veículos diariamente, justifica-se o uso do aço pelos seguintes fatores: crescimento do uso do aço na construção civil em estruturas metálicas de pequenos e grandes projetos, que vem ganhando espaço a cada dia; redução do desperdício de materiais gerando menos entulho na obra; redução tempo de construção; possibilidade de desmontar e reutilizar os componentes e o aumento do espaço útil da construção.

1.3 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesse tópico, será mostrado de maneira detalhada as definições e características dos aços, e em seguida com o foco nos aços estruturais e os tipos de estruturas voltadas para construção civil. Também será apresentado as principais características dos edifícios industriais. Por fim, uma revisão bibliográfica das principais ações atuantes em estruturas e noções sobre o pré-dimensionamento das mesmas.

1.3.1 O aço

O aço já era conhecido desde a Antiguidade, porém não estava disponível a preços competitivos por falta de um processo industrial de fabricação. O inglês Henry Bessemer inventou, em 1856, um forno que permitiu a produção do aço em larga escala, a partir das décadas de 1860/70. Em 1864, os irmãos Martin desenvolveram um outro tipo de forno de maior capacidade. Desde então, o aço rapidamente substituiu o ferro fundido e o forjado na indústria da construção. O processo Siemens-Martin apareceu em 1867. Por volta de 1880, foram introduzidos os laminadores para barras (PFIEL E PFEIL, 2009).

1.3.1.1 Definições

As formas mais usuais de metais ferrosos são o aço, o ferro fundido e o ferro forjado, sendo o aço atualmente o de maior importância dos três. O aço é uma liga de ferro e carbono, com elementos residuais decorrentes do processo de fabricação, como enxofre, fósforo, manganês e silício, e alguns elementos de liga adicionados com o objetivo de melhorar as características físicas e mecânicas do metal (PFEIL E PFEIL, 2009). Nessas condições, Chiaverini (2002) define também que o aço é a liga ferro-carbono contendo geralmente 0,008% até aproximadamente 2,11% de carbono.

Segundo Chiaverini (1986), os aços carbonos, devido ao seu processo de fabricação, possuem em sua composição química os elementos carbono, silício, enxofre, fósforo e manganês, além de outros elementos químicos que existem apenas em quantidades residuais. A quantidade de carbono presente no aço define sua classificação, sendo dessa forma divididos em aços de baixo, médio e alto teor de carbono. Atualmente, de acordo com o Centro Brasileiro da Construção em Aço (CBCA), existem mais de 3.500 diferentes tipos de aços com aplicação nos diversos setores da indústria, e cerca de 75% deles foram desenvolvidos nos últimos 20 anos, mostrando a grande evolução que o setor tem experimentado.

Pfeil e Pfeil (2009) ressalva que o aço é a mais versátil e a mais importante das ligas metálicas, sendo produzido em uma grande variedade de tipos e formas, cada qual atendendo eficientemente a uma ou mais aplicações. Esta variedade decorre da necessidade de contínua adequação do produto às exigências de aplicações específicas que vão surgindo no mercado, seja pelo controle da composição química, seja pela garantia de propriedades específicas ou, ainda, na

forma final (chapas, perfis, tubos, barras, etc.).

1.3.1.2 Constantes físicas

De acordo com Bellei (1998) as constantes físicas do aço são praticamente constantes, na faixa normal de temperatura, para qualquer aço estrutural, as seguintes propriedades, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1. Constantes físicas do aço.

Constante física	Valor
Massa específica	$\rho = 7,85 \text{ t/m}^3$
Módulo de elasticidade	$E = 210.000 \text{ MPa} = 2.100 \text{ tf/cm}^2$
Coefficiente de Poisson no regime elástico	$\nu = 0,3$
Coefficiente de Poisson no regime plástico	$G = \frac{E}{[2(1 + \nu)]} = 78.850 \text{ MPa} = 788 \text{ tF/cm}^2$
Módulo transversal de elasticidade	$\nu_p \approx 0,5$
Coefficiente de dilatação térmica	$\alpha = 12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

Fonte: Autoria própria (2019).

1.3.1.3 Propriedades do aço

De acordo com Pfeil e Pfeil (2009) as características físicas que podem ser encontradas em todos os tipos de aços estruturais na faixa normal de temperatura atmosférica são:

- Ductibilidade:** é a capacidade que o material tem de se deformar quando submetido a ações de cargas que se estendem até o material atingir a sua ruptura.
- Fragilidade:** é o oposto do material dúctil; o material se torna frágil quando exposto a diversos agentes como baixas temperaturas ambientes, efeitos térmicos local, entre outros.
- Resiliência e Tenacidade:** essas propriedades são diretamente relacionadas à capacidade que o metal tem em absorver energia mecânica. A resiliência está relacionada ao regime elástico, já a tenacidade ao regime elástico e plástico.
- Dureza:** é a resistência ao risco ou abrasão.
- Fadiga:** a resistência à ruptura através de um ensaio estático, quando as peças metálicas trabalham sob efeito de esforços repetidos.
- Elasticidade:** é a capacidade de um material ter grandes deformações antes do escoamento.

1.3.1.4 Classificação

Estabelecer uma classificação completa e precisa dos aços é uma tarefa difícil, pois constantemente novos aços são criados com adição de novos elementos químicos que modificam suas propriedades. Dessa forma, uma das classificações mais adotadas refere-se a sua composição química. Chiaverini (2002) considera dois tipos fundamentais de aço de acordo com a composição química.

a) Aço carbono

Também conhecido como liga ferro-carbono contendo geralmente 0,008% até cerca de 2,11% de carbono, além de teores residuais normais dos processos de fabricação. São subdivididos em:

- aços de baixo teor de carbono, inferior a 0,2%;
- aços de médio carbono, entre 0,2 e 0,5%;
- aços de alto teor de carbono, acima de 0,5%;

b) Aços-liga

O Aço-carbono que contém outros elementos de liga ou apresenta os elementos residuais em teores acima dos que são considerados normais. São subdivididos em:

- aços de baixo teor de ligas, com elementos de liga abaixo de 8%;
- aços de alto teor de ligas, com elementos de liga acima de 8%;

1.3.2 Aços estruturais

De acordo Dias (1997), na construção civil o interesse maior é nos aços estruturais que devido a sua resistência, ductibilidade e outras propriedades citadas no tópico 1.3.1.3, são adequados para ser utilizados em elementos que suportam cargas.

As peças em aço estrutural têm seu uso na construção metálica estabelecido por normas, seja ela brasileira ou estrangeira. As siderúrgicas brasileiras Gerdau e Usiminas produzem e comercializam aços estruturais que possuem normas específicas e recebem designações comerciais próprias. Estes aços são adequados para utilização estrutural, com requisitos de composição e propriedades definidas.

1.3.2.1 Vantagens e desvantagens do aço estrutural

Pinheiro (2005) cita as principais vantagens e desvantagens da utilização do aço estrutural.

a) Vantagens

- Fabricação das estruturas com precisão milimétrica que ocorre dentro da indústria, possibilitando alto controle de qualidade do produto acabado;
- Garantia das dimensões e propriedades dos materiais;
- Melhor desempenho a vibração e choques;
- Possibilidade de execução de obras mais rápidas e limpas;
- Possibilidade de desmontagem das estruturas para montagem em outro local;
- Alta resistência estrutural, possibilitando a execução de obras leves para vencer grandes vãos;
- Possibilidade de reaproveitamento dos materiais em estoque ou até mesmo sobras;

b) Desvantagens

- Limitação de fabricação devido transporte até o local de montagem;
- Em decorrência da oxidação do metal, é necessário realizar um tratamento superficial das peças;
- Necessita de mão de obra e equipamentos especializados para fabricação e montagem;
- Limitação de fornecimento de perfis estruturais;

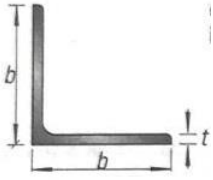
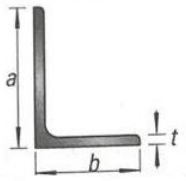
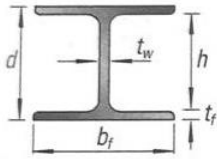
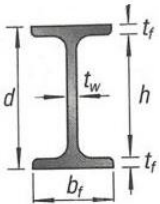
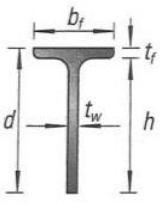
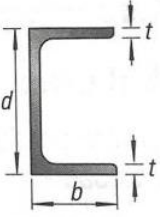
1.3.2.2 Perfis estruturais

As usinas fabricam aços para utilização estrutural sob formas de perfis laminados, perfis de chapa dobrada, perfis soldados e perfis compostos, fios trefilados, cabos e etc.

a) Perfis Laminados

São perfis de grande eficiência estrutural, produzidos por laminadores. São fabricados na forma das letras H, I, U, L e T. A Tabela 2 mostra esses perfis com suas características geométricas.

Tabela 2. Características geométricas dos perfis.

Perfil	Características geométricas	Perfil	Características geométricas
	Cantoneiras de abas iguais Largura da aba: b Espessura da aba: t		Cantoneiras de abas desiguais Largura da aba: a Largura da aba: b Espessura da aba: t
	Perfil H Largura da mesa: b_f Espessura da mesa: t_f Espessura da alma: t_w Altura da alma: h Altura do perfil: d		Perfil I Largura da mesa: b_f Espessura da mesa: t_f Espessura da alma: t_w Altura da alma: h Altura do perfil: d
	Perfil T Largura da mesa: b_f Espessura da mesa: t_f Espessura da alma: t_w Altura da alma: h Altura do perfil: d		Perfil U Largura da aba: b Espessura da aba: t Altura do perfil: d

Fonte: Autoria própria (2019).

No Brasil, os perfis laminados são classificados por: **Código Literal**, **Altura** (mm), **Peso** (kg/m). Exemplos de códigos literais e designação de perfis:

1) Códigos literais:

- L - Cantoneira de abas iguais ou desiguais;
- I - Perfil de seção transversal com formato igual a letra "I";
- H - Perfil de seção transversal com formato igual a letra "H";
- U - Perfil de seção transversal com formato igual a letra "U";
- T - Perfil de seção transversal com formato igual a letra "T";

2) Exemplos de designação de perfis:

- I 150 - Perfil I, abas inclinadas com altura de 150 mm;
- IP 400 - Perfil I, abas paralelas com altura de 400 mm;
- HPL 100 - Perfil H, abas paralelas, série leve, com altura de 100 mm;
- HPM 300 - Perfil H, abas paralelas, série média, com altura de 300 mm;

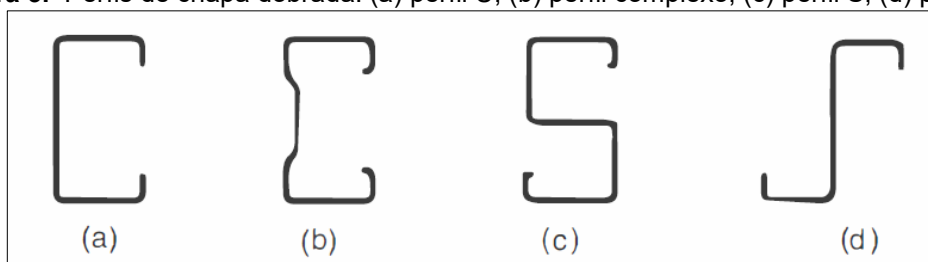
- HPP 500 - Perfil H, abas paralelas, série pesada, com altura de 500 mm;
- U 100 - Perfil U, abas inclinadas com altura de 100 mm;
- L 50 X 3 - Perfil L, abas iguais a 50 mm e espessura de 3 mm;
- L 50 X 30 X 3 - Perfil L, abas desiguais de 50 mm e 30 mm e espessura de 3 mm;

b) Perfis de chapa dobrada

Para Bandeira (2008), a produção de perfis de chapa dobrada pode ser feita pelo processo de dobramento a frio através de prensas especiais com gabarito. Esse tipo de fabricação também possibilita criar formas e dimensões diferenciadas e guardadas as limitações dimensionais de suas linhas de produção. Para a fabricação desses perfis, utilizam-se as normas AISI (American Iron and Steel Institute) ou NBR 14762: 2001 (Dimensionamento de estruturas de aço constituídas de perfis formados a frio). Na Figura 3 observa-se alguns perfis de chapa dobrada.

Como são utilizadas chapas mais finas em sua produção, esses perfis são indicados para construções mais leves, sendo usados, principalmente, como barras de treliças, terças, etc.

Figura 3. Perfis de chapa dobrada: (a) perfil U, (b) perfil complexo, (c) perfil S, (d) perfil Z.



Fonte: Pfeil e Pfeil (2009).

c) Perfis soldados e perfis compostos

De acordo com Guarnier (2009), os perfis soldados e compostos são obtidos através do corte, composição e soldagem de chapas planas laminadas que são unidas por solda, sendo utilizadas nas construções devido à grande variedade de dimensões possíveis de se obter. Por exemplo, o perfil I é formado pela associação de três chapas, como mostra a Figura 4(a).

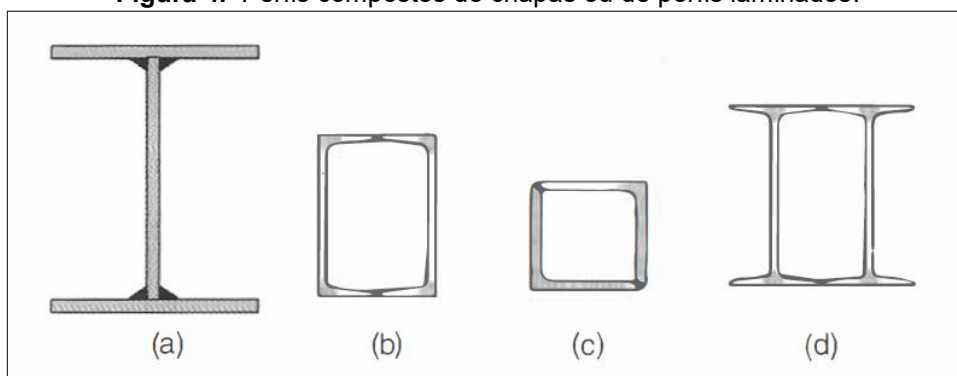
Este tipo de perfil possui uma vantagem sobre os perfis laminados, pois não existem limites de altura, já que o perfil laminado é limitado à capacidade da linha de

produção de cada fabricante.

A norma brasileira NBR 5884 padronizou três séries de perfis soldados:

- Perfis CV - Colunas soldadas – mais adequados a solicitações normais;
- Perfis VS - Vigas soldadas – mais adequados a solicitações fletoras;
- Perfis CVS - Colunas e vigas soldadas – adequado a ambas as solicitações anteriores;

Figura 4. Perfis compostos de chapas ou de perfis laminados.

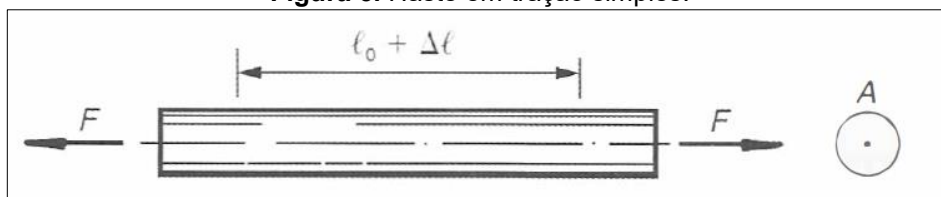


Fonte: Pfeil e Pfeil (2009).

1.3.2.3 Diagrama tensão-deformação

Nas aplicações estruturais, as grandezas utilizadas com mais frequência são as tensões (σ) e as deformações (ϵ).

Figura 5. Haste em tração simples.



Fonte: Pfeil e Pfeil (2009).

Na Figura 5, verifica-se que a força F aplicada na direção axial da peça provoca um esforço de tração simples. Dividindo a força F pela área A da seção transversal, obtêm-se a tensão normal (σ) igual em todos os pontos, de acordo com a equação:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

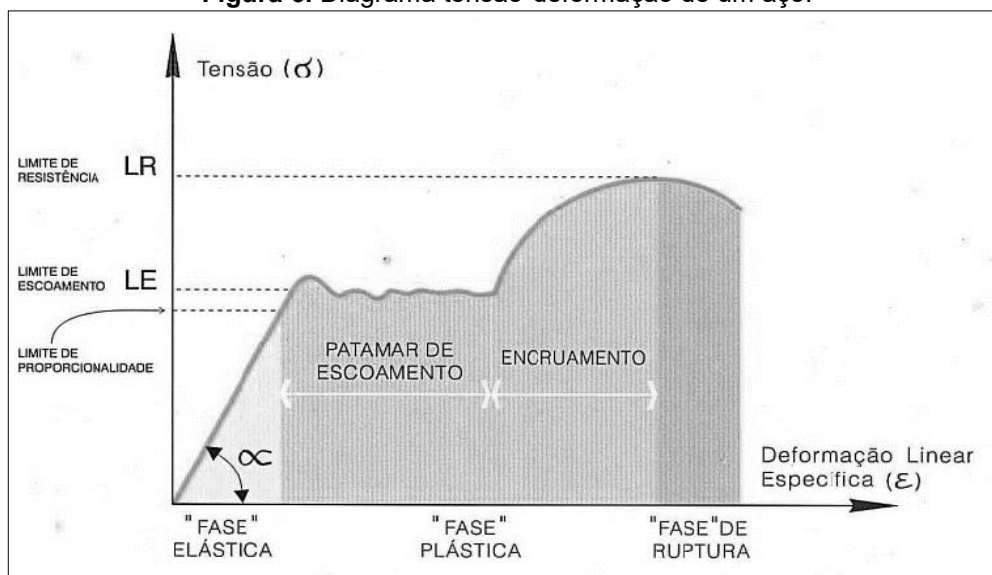
Na mesma Figura, marca-se o comprimento inicial da haste l_0 e sob o efeito

da força F de tração, o segmento da barra sofre um alongamento passando a ter o comprimento $\ell_0 + \Delta\ell$. Denomina-se deformação específica a equação:

$$\varepsilon = \frac{\Delta\ell}{\ell_0} \quad (2)$$

Submetendo o material ao ensaio de tração, obtêm-se o diagrama tensão-deformação, Figura 6, através da relação da tensão aplicada e a deformação resultante (DIAS, 1997).

Figura 6. Diagrama tensão-deformação de um aço.



Fonte: Dias (1997).

As tensões (σ) são proporcionais às deformações (ε) que dentro do limite elástico do material, é denominada Lei de Hooke, em homenagem ao físico inglês Robert Hooke (1635-1703). O coeficiente de proporcionalidade é chamado de módulo de elasticidade, módulo de deformação longitudinal ou ainda módulo de Young, em homenagem ao cientista inglês Thomas Young (1773-1829). Esse coeficiente também é conhecido como módulo de elasticidade e é representado pela letra (E) da equação abaixo (PFEIL E PFEIL, 2009). Assim a relação tensão deformação pode ser escrita como:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (3)$$

O módulo de elasticidade é praticamente igual para todos os aços, variando entre 200.000 e 210.000 MPa.

1.3.3 Ligações de peças metálicas

Ligação é a união entre dois membros ou peças em qualquer tipo de estrutura e é de fundamental importância, pois representa a segurança da construção.

Pfeil e Pfeil (2009) comenta que os componentes estruturais metálicos são produzidos com dimensões transversais limitadas pela capacidade dos laminadores e com comprimentos restritos pela capacidade dos veículos de transporte. Em consequência disso, as estruturas de aço são formadas pela associação de peças ligadas entre si.

De uma maneira geral, os pontos de união mais utilizados em edifícios de múltiplos andares são: Viga-Viga, Pilar-Pilar, Viga-Pilar e Pilar-Fundação. É importante ressaltar que existem normas que recomendam uma resistência mínima na ligação como medida de segurança.

O projeto da ligação pode influenciar significativamente no custo da estrutura, pois o tipo de ligação deve ser escolhido levando-se em consideração os seguintes fatores: O comportamento da conexão (rígida ou flexível, por contato ou atrito), limitações construtivas, facilidade de fabricação (acesso para soldagem, uso de equipamentos automáticos, repetição de detalhes padronizados, etc.) e montagem (acesso para parafusamento, suportes provisórios, simplicidade, repetição, etc.) (DIAS, 1997).

Há dois tipos de ligações: por meio de parafusos ou por solda. Antigamente, aplicava-se também as ligações rebitadas, mas devido à baixa resistência mecânica, necessidade de mão de obra especializada, instalação lenta e dificuldade de inspeção foram fatores que a deixaram de ser utilizadas.

1.3.3.1 Ligação Soldada

Bellei (1998) define a soldagem como o processo que visa unir duas ou mais partes constitutivas de forma permanente, conservando entre elas a continuidade do material em consequência suas características mecânicas e químicas, bem como os esforços a que ela está sujeita. A Figura 7 mostra parte de uma estrutura soldada.

Atualmente, existem inúmeros processos de soldagem que foram aprimorados e outros desenvolvidos, entre os mais usados em estruturas metálicas, pode-se citar:

- Processo manual com eletrodo revestido (SMAW);
- Processo a arco submerso (SAW);
- Processo MIG, MAG, TIG ou soldagem em atmosfera gasosa (GMAW);
- Processo arame tubular (FCAW);
- Processo de soldagem eletro-escória;

Figura 7. Ligação soldada entre viga-pilar.



Fonte: Aecweb (2018).

Bellei (1998) também ressalva que o uso do processo de soldagem em estruturas metálicas possibilita eliminar problemas relacionado à fissura e fadiga. Porém, como todo processo, este apresenta suas vantagens e desvantagens.

a) Vantagens

- Economia de material. As estruturas soldadas permitem eliminar grande percentagem de chapas de ligação, se comparados as ligações parafusadas;
- As ligações soldadas são mais rígidas, pois as peças estão soldadas umas nas outras;
- Facilidade de modificar o desenho das peças, corrigindo erros de montagem a um custo menor;
- Uso de uma menor quantidade de peças, conseqüentemente menor tempo de detalhe, fabricação e montagem;

b) Desvantagens

- Nas estruturas de grandes extensões ocorrem reduções no comprimento das peças devido aos efeitos acumulativos de retração;
- Necessidade de grande demanda de energia elétrica, o que exigiria colocar geradores para alimentar as máquinas de solda;
- Exige uma análise detalhada de fadiga nos pontos de solda;
- Maior tempo de fabricação e montagem das peças;
- Dificuldade para desmontagem;

1.3.3.2 Ligação parafusada

As ligações parafusadas são empregadas em larga escala nas partes das estruturas montadas em campo. Os tipos de parafusos mais utilizados são os parafusos comuns e parafusos de alta resistência.

De acordo com Guarnier (2009) os parafusos comuns têm baixa resistência mecânica, sendo o tipo ASTM A-307 o mais utilizado. A instalação desse tipo de parafuso ocorre sem o controle de torque aplicado, sendo assim feita com chave manual comum ou pneumática aplicadas à cabeça ou à porca até que se garanta a união entre as partes da estrutura. É empregado apenas para peças secundárias, como por exemplo corrimãos, guarda-corpos, terças, longarinas de fechamento, etc. Já os parafusos de alta resistência são empregados nas ligações mais importantes como por exemplo em viga-pilar da Figura 8. O tipo de parafuso mais utilizado é fabricado conforme a especificação americana ASTM A-325 ou A490, podendo ser por atrito ou por contato. Para esse tipo de parafuso é necessário o uso de controladores de torque (torquímetro) de acordo com o especificado na montagem.

Figura 8. Ligação parafusada.



Fonte: Engenharia Civil na Internet (2015).

a) Vantagens

- Rapidez na fabricação das peças;
- Rapidez nas ligações de campo;
- Economia com relação ao consumo de energia, podendo ser empregado em locais onde há pouca energia disponível;
- Uso de poucas pessoas não muito qualificadas, se comparada ao caso dos soldadores;
- Melhor resposta às tensões de fadiga.

b) Desvantagens

- Necessidade de verificar áreas líquidas e esmagamentos das peças, o que exige reforço dessas partes;
- Necessidade de previsão antecipada, para evitar a falta de parafusos nas obras;
- Necessidade, em alguns casos, de se realizar uma pré-montagem de fábrica para o casamento perfeito dos furos;
- Maior dificuldade de se fazer modificações e correções na montagem.

1.3.4 Estruturas

Dias (1997, p.3) ressalva que: “Estrutura é a parte ou o conjunto das partes de uma construção que se destina a resistir a cargas”. Dessa forma, cada componente

estrutural deve resistir a todos os esforços solicitantes e transmiti-los a outras peças através dos vínculos de união, com a finalidade de conduzir as cargas para as fundações.

1.3.4.1 Classificação dos componentes

a) de acordo com as dimensões

De acordo com as suas dimensões, podem ser classificados em blocos, folhas e barras.

1) Blocos

Possuem as três dimensões com os mesmos valores. exemplo: bloco de fundação.

2) Folhas

Possuem uma das dimensões com valor muito inferior as outras duas. exemplo: Lajes, paredes estruturais e cascas de cobertura.

3) Barras

Possuem, uma das dimensões com valor muito superior as outras duas. Pode ser subdividida em barras sólidas ou com paredes delgadas. Exemplo: vigas e pilares.

b) de acordo com os carregamentos

Os componentes estruturais são classificados da forma como a carga é aplicada. Citam-se, entre outras: placas ou lajes, chapas ou paredes estruturais, vigas e pilares, de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3. Classificação dos componentes estruturais.

Peça	Direção do carregamento
Placas ou lajes	Perpendicular à face formada pelas duas maiores dimensões.
Chapas ou paredes estruturais	Paralelo à face formada pelas duas maiores dimensões.
Vigas	Sofrem carregamento transversal ao seu eixo.
Pilares	Sofrem carregamento axial.

Fonte: Autoria própria (2019).

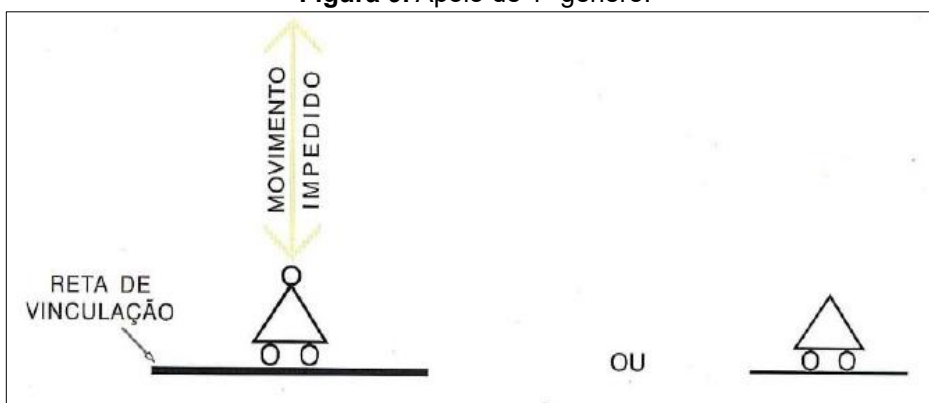
c) de acordo com os vínculos

Os vínculos são classificados de acordo com os movimentos que impedem.

1) Articulação móvel ou apoio de 1º gênero

Impede o movimento perpendicular à reta de vinculação, permitindo o movimento paralelo à mesma e também a rotação em torno do ponto vinculado, de acordo com a Figura 9.

Figura 9. Apoio de 1º gênero.

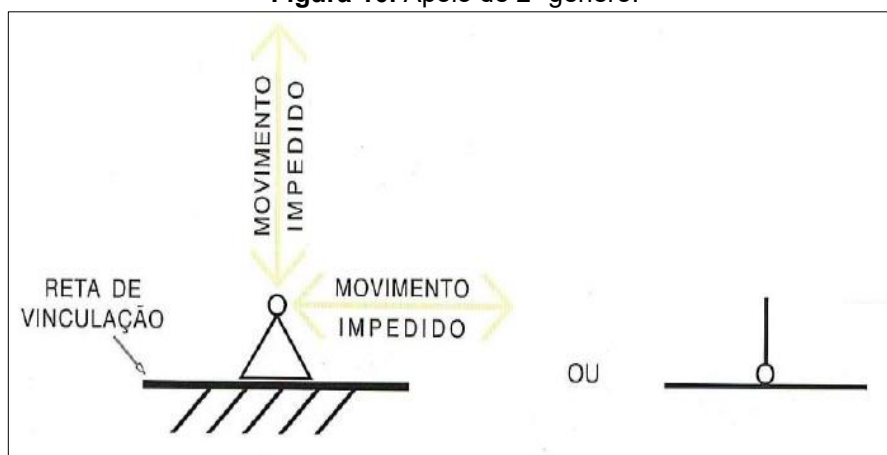


Fonte: Dias (1997).

2) Articulação fixa ou apoio de 2º gênero

Impedem os movimentos perpendiculares e paralelos à reta de vinculação, mas permite o movimento de rotação em torno do ponto vinculado, de acordo com a Figura 10.

Figura 10. Apoio de 2º gênero.

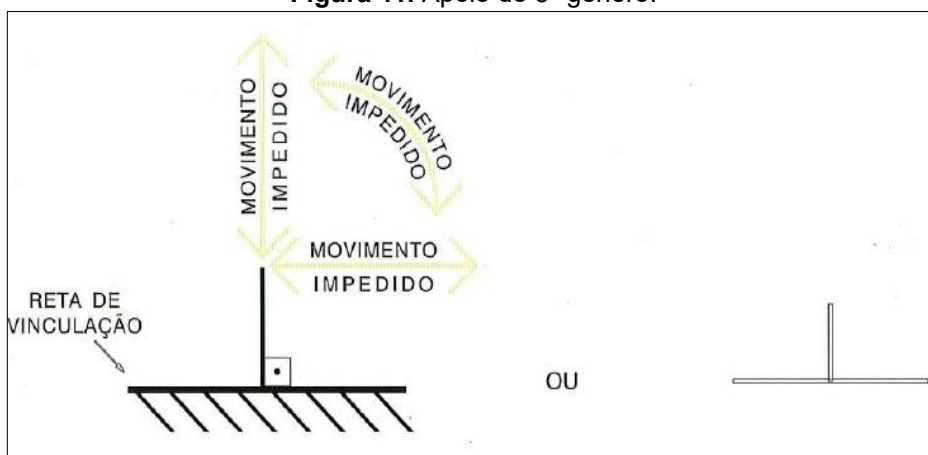


Fonte: Dias (1997).

3) Engastamento apoio de 3º gênero

Impedem os movimentos de perpendiculares, paralelos à reta de vinculação e de rotação em torno do ponto vinculado, de acordo com a Figura 11.

Figura 11. Apoio de 3º gênero.



Fonte: Dias (1997).

1.3.4.2 Definições dos componentes estruturais

De acordo com Guarnier (2009) é de interesse do detalhista estrutural ter o conhecimento dos principais componentes estruturais disponíveis no mercado, com o objetivo de viabilizar a execução de detalhes projetados.

Bellei (1998) destaca os principais elementos estruturais. Com o conjunto desses elementos, obtêm-se uma estrutura em aço.

a) Colunas

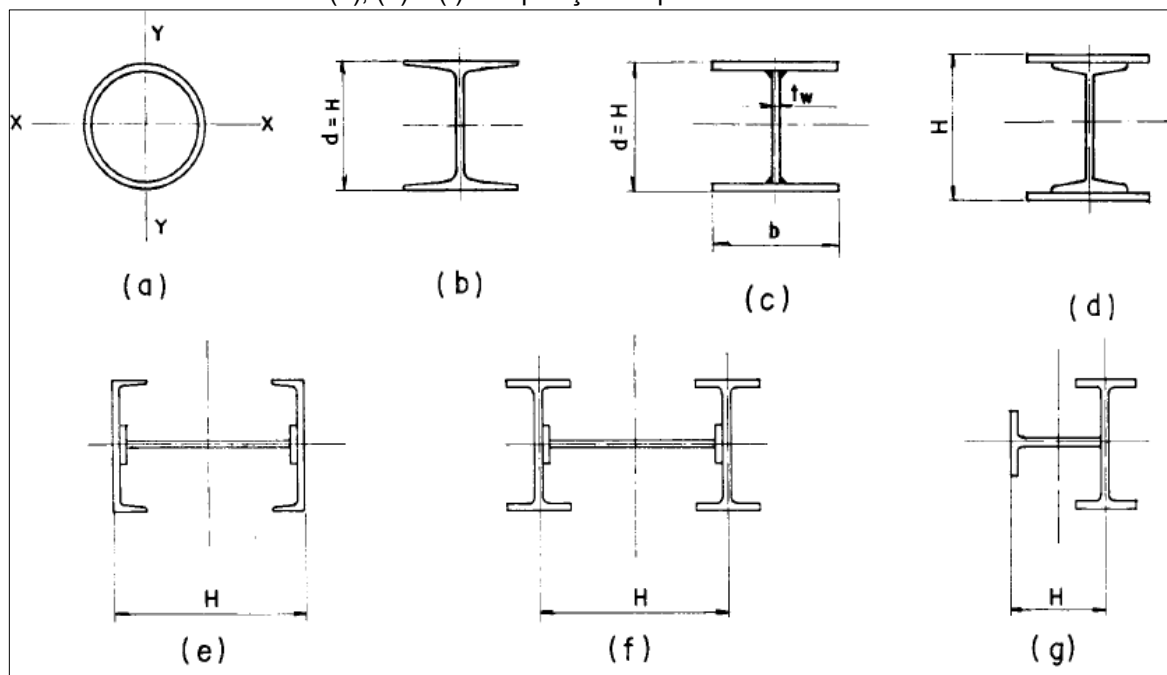
De acordo com Bellei (1998) colunas são elementos estruturais com a finalidade de transferir às fundações as cargas originárias de outros componentes. Sob ponto de vista estrutural, podem ser divididas em: principais, que suportam a maior parcela das cargas e secundárias: suportam menor parcela das cargas.

As colunas podem sofrer esforços de compressão, compressão com flexão e tração com flexão. Com relação à fixações nas bases, podem ser divididas em rotuladas ou engastadas.

1) Colunas de alma cheia

Possui altura constante e é formada por um ou vários perfis laminados ou soldados, ligados por solda ou parafusos. A Figura 12 mostra sete desses perfis.

Figura 12. Tipos de colunas de alma cheia – (a) perfil tubular, (b) perfil H, (c) perfil soldado composto, (d), (e) e (f) composição de perfis laminados.



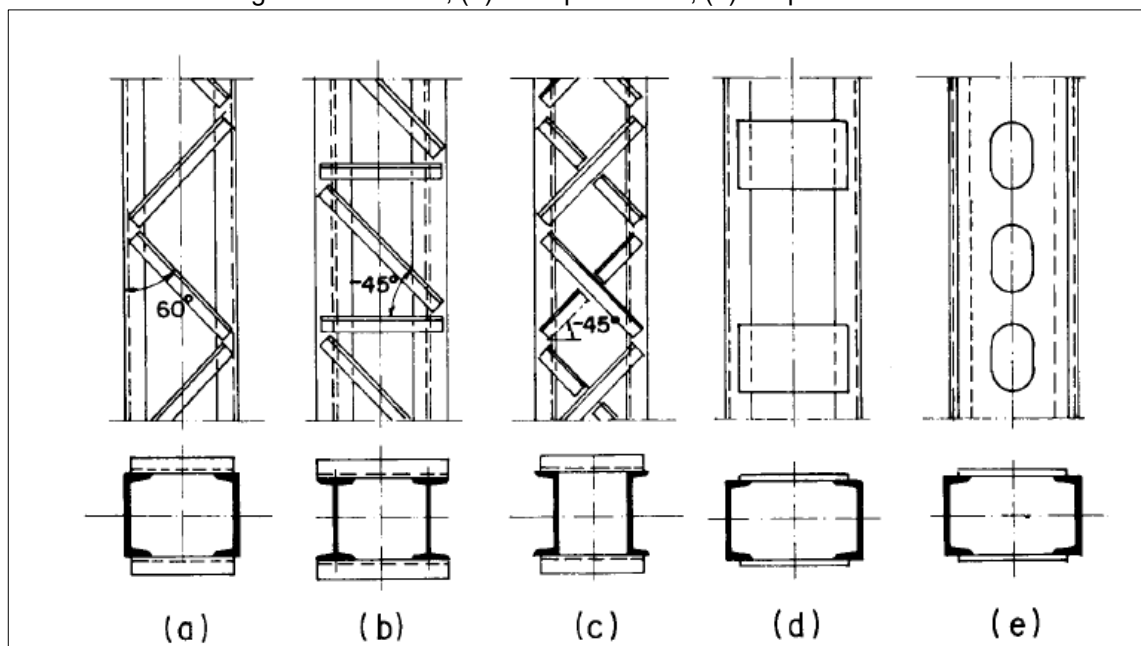
Fonte: Bellei (1998).

Os perfis mais utilizados em edifícios são o tipo I e H, laminado ou soldado. O primeiro é usado em edifícios pequenos sem pontes rolantes ou em colunas de tapamentos de pouca altura, pois possui baixo raio de giro no sentido de menor inércia. Já o segundo é ideal para edifícios maiores, pois possui raio de giro próximos nos dois eixos, com aplicação viável até 400 mm a 450 mm. Acima disso, é aconselhável utilizar perfis compostos.

2) Colunas treliçadas

Neste modelo utiliza-se de um ou vários perfis laminados ligados por chapas ou cantoneiras que ficam localizadas no mesmo plano das mesas. Na Figura 13 é possível observar algumas séries de seções típicas para esta coluna.

Figura 13. Tipos de colunas de alma cheia – (a) treliças Warren, (b) treliças Pratt, (c) treliças com diagonais cruzadas, (d) talas para união, (e) chapas vazadas.



Fonte: Bellei (1998).

Normalmente são utilizados perfis duplos U laminados com as abas orientadas para dentro, Figura 13 (a). A seção de duplo I é usada para grandes cargas quando não há possibilidade do uso o perfil duplo U e é chamada de treliça tipo Pratt, fig.13 (b). Outros modelos não comumente usados são as treliças com diagonais cruzadas, talas para união e chapas vazadas, Figura 13 (c), (d) e (e), respectivamente.

A principal vantagem das colunas treliçadas é a possibilidade de obter a mesma resistência equivalente às colunas de alma cheia, porém com menor peso, ou seja, mais eficiente.

b) Vigas

Para Dias (1997) as vigas são elementos estruturais sujeitos a esforços de flexão. Dessa forma, esses elementos são empregados para vencer vãos na horizontal e com o objetivo de transferir as cargas, geralmente verticais para os apoios.

Bellei (1998) define alguns tipos de vigas utilizadas em estruturas metálicas como se vê a seguir:

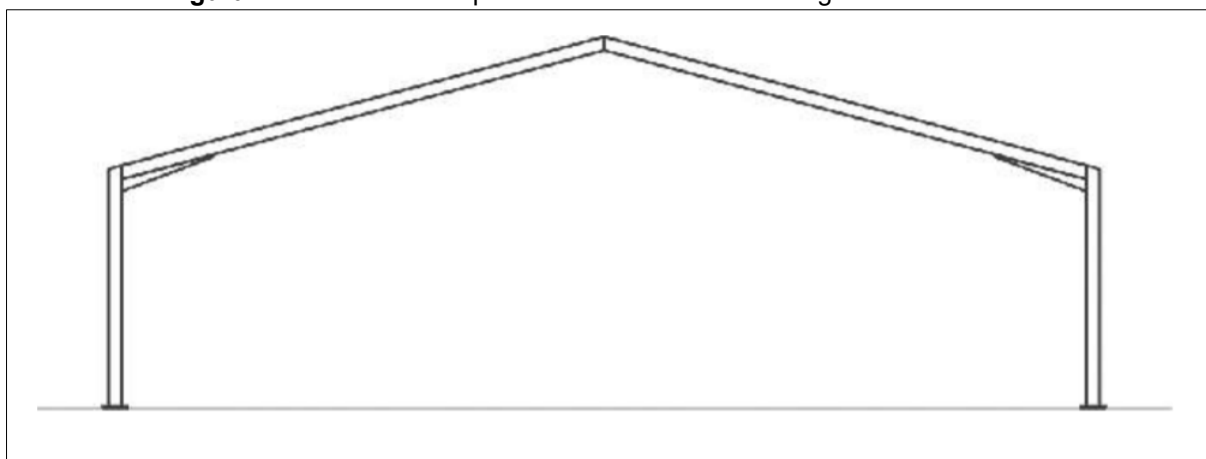
1) Vigas de cobertura

Tem a função de transmitir as cargas da cobertura para às colunas e também servem para dar estabilidade a estrutura. São subdivididos em vigas de cobertura em alma cheia e em armações (tesouras ou treliças).

I. Vigas de cobertura em alma cheia

São formadas por perfis laminados, soldados ou vazados. Podem ser de perfis com altura constante (vãos até 30 m) ou altura variável (mais de 30 m). Nesse modelo têm-se apenas dois pontos principais: ligação viga-viga e ligação viga-pilar como mostra a Figura 14.

Figura 14. Estrutura com pórtico contendo colunas e vigas em alma cheia.

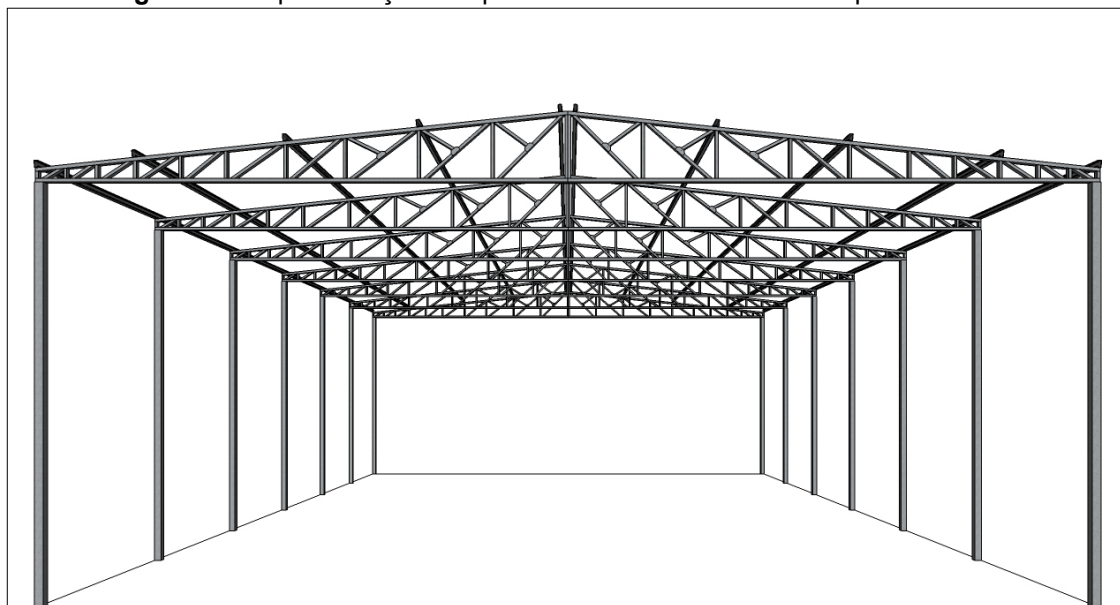


Fonte: Gerdau (2018).

II. Vigas de cobertura em armações

É o tipo de armação mais antiga para cobertura. Atualmente, com utilização de perfis laminados com maior altura e perfis soldados tipo I, as armações em tesouras ou treliças passaram a ser econômicas para vãos acima de 25 a 30 metros. Podem ser compostas por ligações soldadas ou parafusadas. A principal característica desse tipo de estrutura, Figura 15, é que as suas barras trabalham normalmente a tração e compressão.

Figura 15. Representação do tipo de estrutura com coluna simples e tesoura.



Fonte: Soluções industriais (2018).

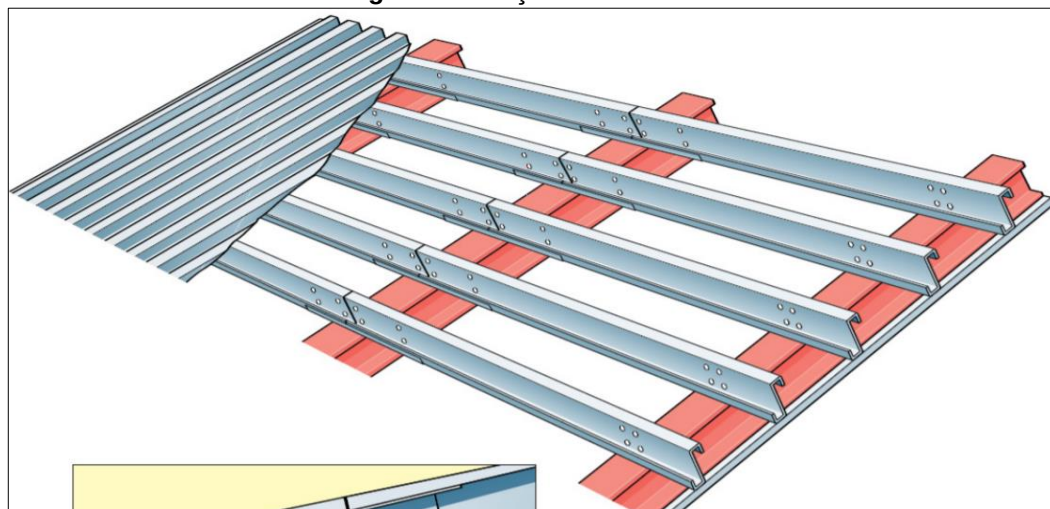
2) Vigas de tapamento

São vigas situadas entre os pórticos ou colunas com a finalidade de servir de apoio para as chapas de tapamento. Estão sujeitas a solicitações de flexão dupla no sentido de maior inercia devido a carga de vento e no sentido de menor inercia provocada pelo peso próprio das vigas e chapas de tapamento.

c) Terças

São encontradas na cobertura, situadas entre vigas principais e secundárias de pórticos e tesouras, Figura 16, com a finalidade de suportar as chapas de coberturas. Estão normalmente sujeitas às solicitações de flexão ocasionadas pelas cargas que atuam sobre as telhas como: carga do vento (pressão ou sucção) e cargas acidentais (chuva, poeira, pessoas na cobertura).

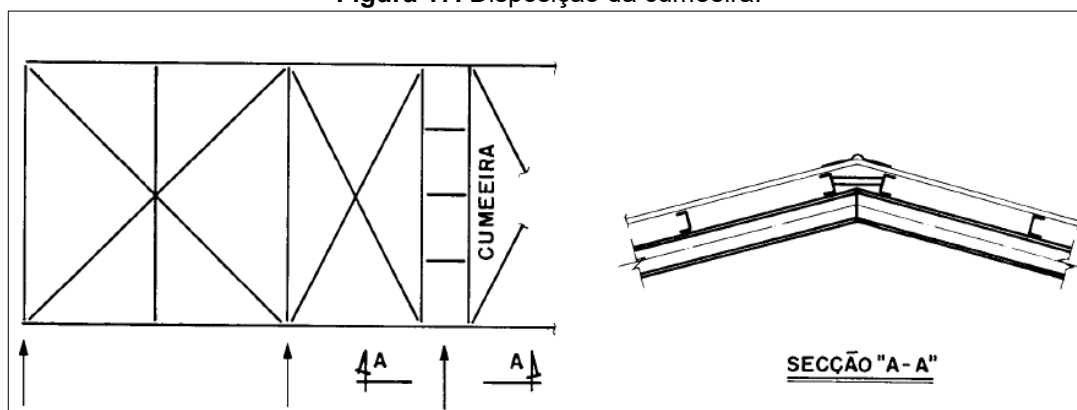
São as terças que transmitem a sobrecarga da cobertura e as ações do vento para os pórticos transversais. Sua execução é conformada a frio ou podem ser laminados.

Figura 16. Terças de cobertura.

Fonte: Vítor Faustino (2018).

d) Cumeeira

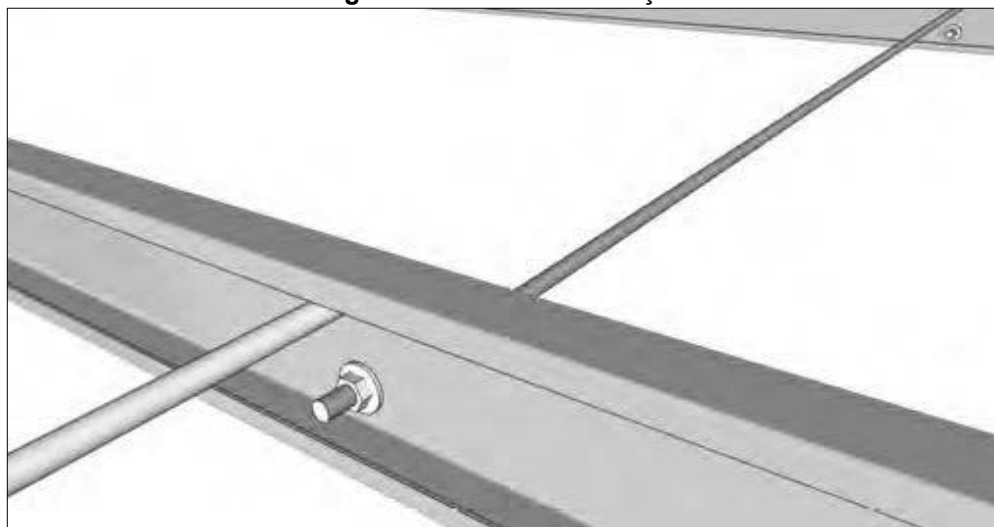
É formada pelas duas terças que estão localizadas no topo do pórtico, como mostra a Figura 17. Está sujeita a solicitações de flexão e situada entre os nós do contraventamento dos planos das terças.

Figura 17. Disposição da cumeeira.

Fonte: Bellei (1998).

e) Tirantes das terças

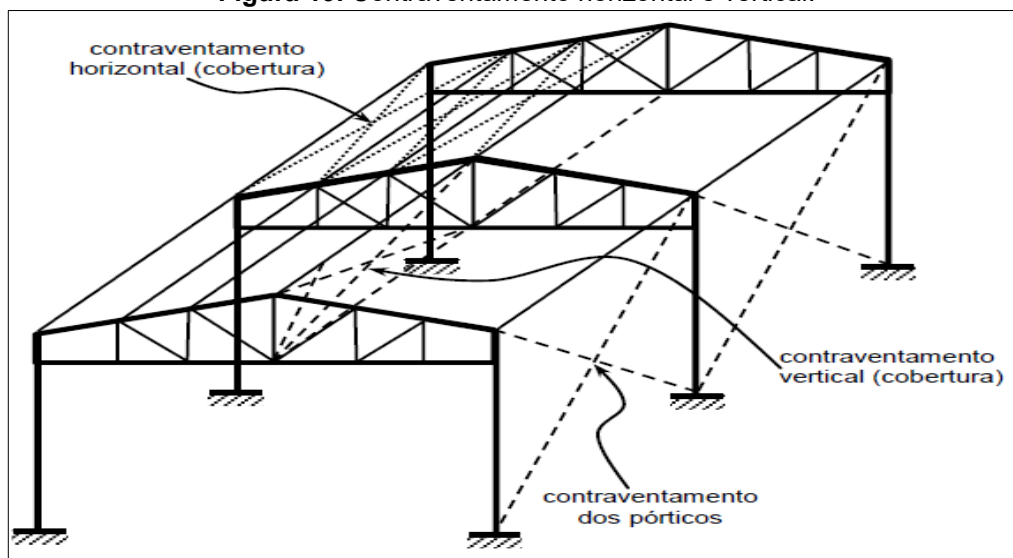
São barras redondas colocadas entre apoios das vigas (terças ou vigas de tapamento), Figura 18, com o objetivo de reduzir o vão entre elas no sentido da menor inércia. Estão sujeitos a esforços de tração.

Figura 18. Tirante entre terças.

Fonte: Rafael Roman (2018).

f) Contraventamentos

São barras que tem o objetivo de garantir a estabilidade da estrutura durante sua vida útil e durante a fase de montagem. Existem contraventamentos horizontais localizados no mesmo plano das terças de cobertura e contraventamentos verticais situados entre pilares ou entre dois pórticos como mostra a Figura 19. Estão sujeitos aos esforços de tração e/ ou compressão.

Figura 19. Contraventamento horizontal e vertical.

Fonte: Melo (2013).

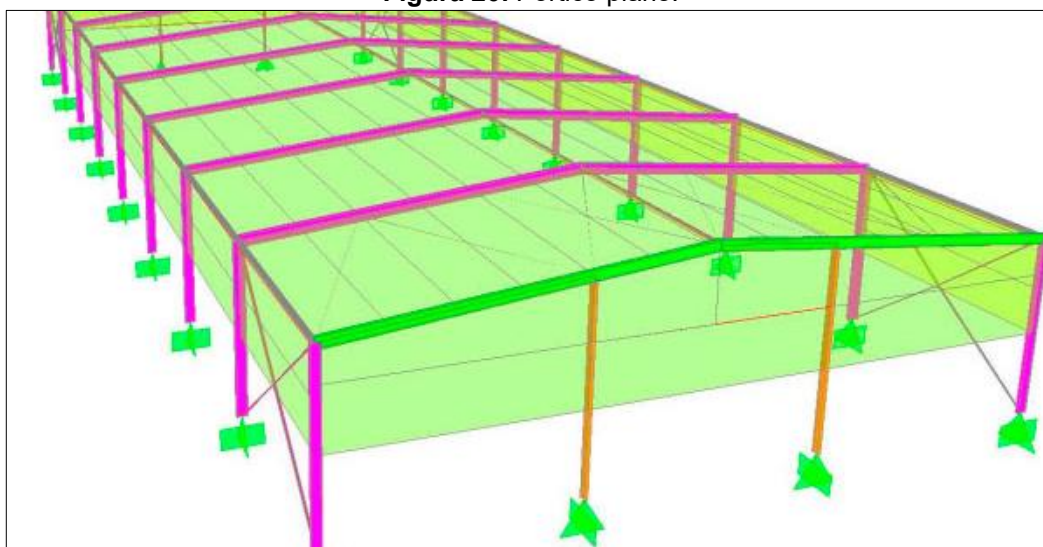
1.3.4.3 Pórticos, Treliças e Grelhas

Pfeil e Pfeil (2009) define brevemente o significado de pórtico plano, treliças planas e espaciais e grelhas.

a) Pórtico plano

Estrutura formada por vigas e pilares com carregamentos distribuídos neste mesmo plano, conforme mostrado na Figura 20.

Figura 20. Pórtico plano.

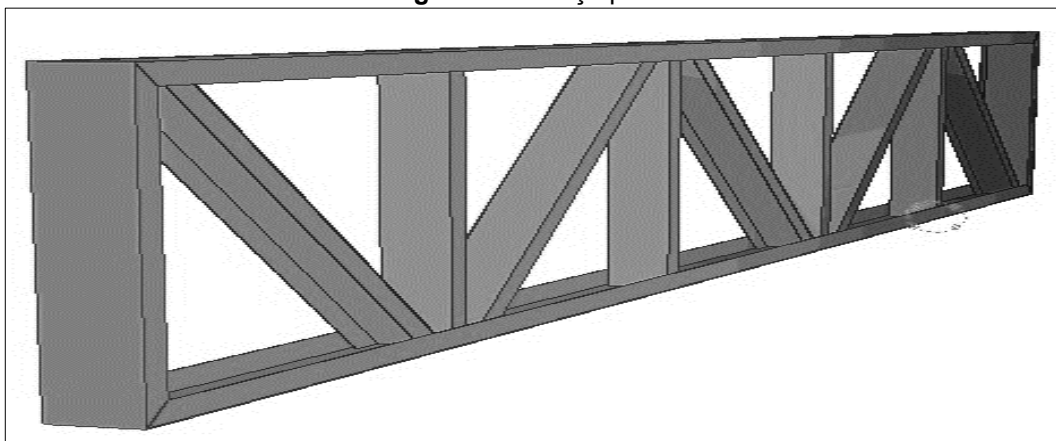


Fonte: Michel Roque Chaves (2016).

b) Treliça plana

É um caso particular de pórtico plano, com a diferença de possuir barras articuladas entre si e submetidas a carregamentos nodais, Figura 21.

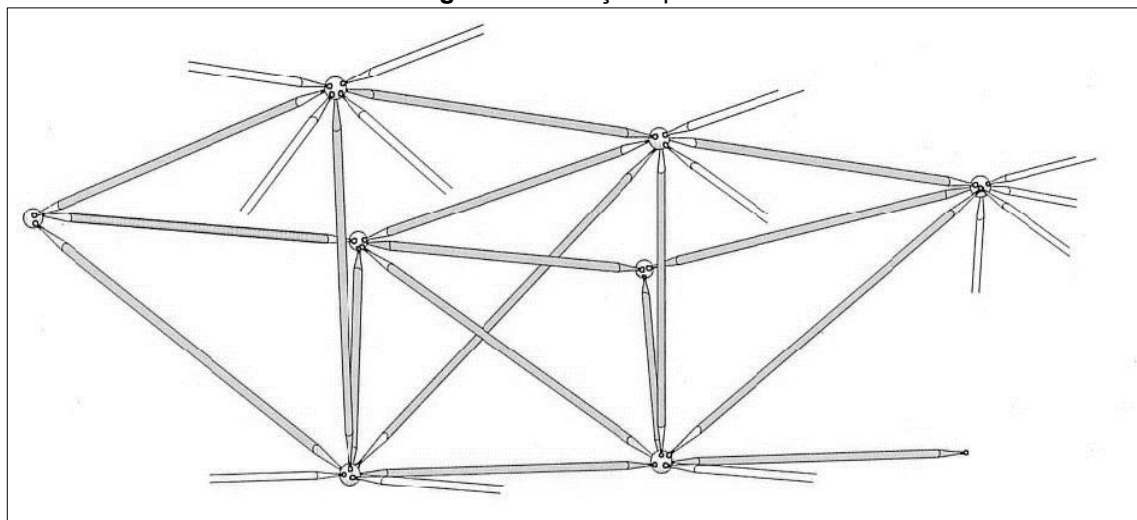
Figura 21. Treliça plana.



Fonte: Tekla Structures (2018).

Estrutura formada por barras não-coplanares articuladas entre si com carregamentos nodais, Figura 22.

Figura 22. Treliça espacial.

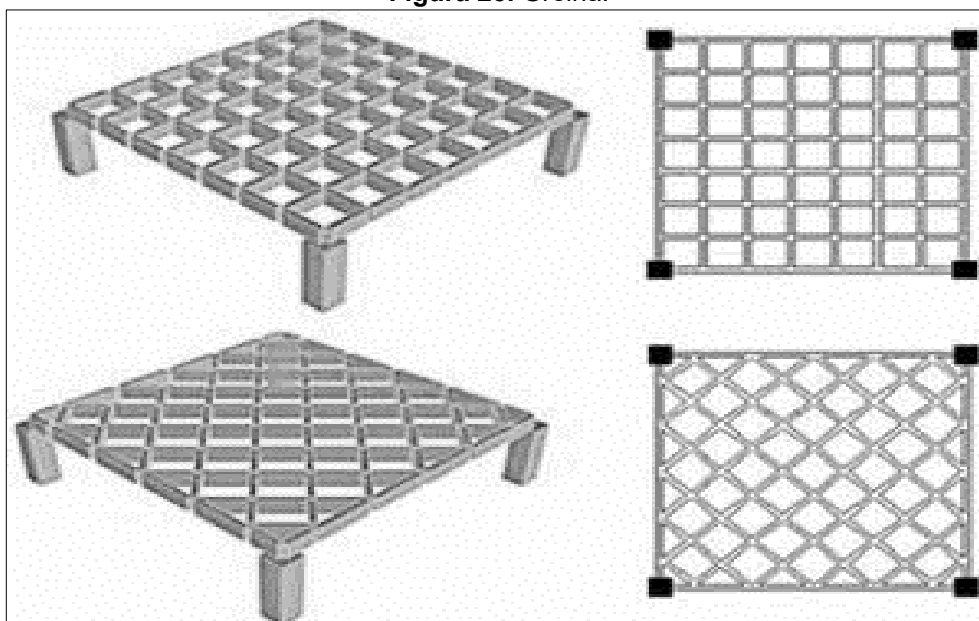


Fonte: Dias (1997).

e) Grelha

Estrutura formada por barras coplanares nos qual os carregamentos formam um plano ortogonal ao plano das barras, Figura 23.

Figura 23. Grelha.



Fonte: Ricardo Henrique Dias (2004).

1.3.5 Edifícios industriais

Segundo o Instituto Aço Brasil, os galpões ou edifícios industriais são construções geralmente em aço de um ou mais pavimentos, por pórticos regularmente espaçados, com cobertura superior apoiada em sistemas de terças e vigas ou tesouras e treliças, com grandes áreas cobertas e destinadas para uso comercial (lojas, estacionamentos, centros de distribuição, entre outros), uso industrial, agrícola ou outras aplicações.

Os edifícios industriais em aço para uso geral, conhecidos como galpões podem apresentar várias concepções, citam-se alguns:

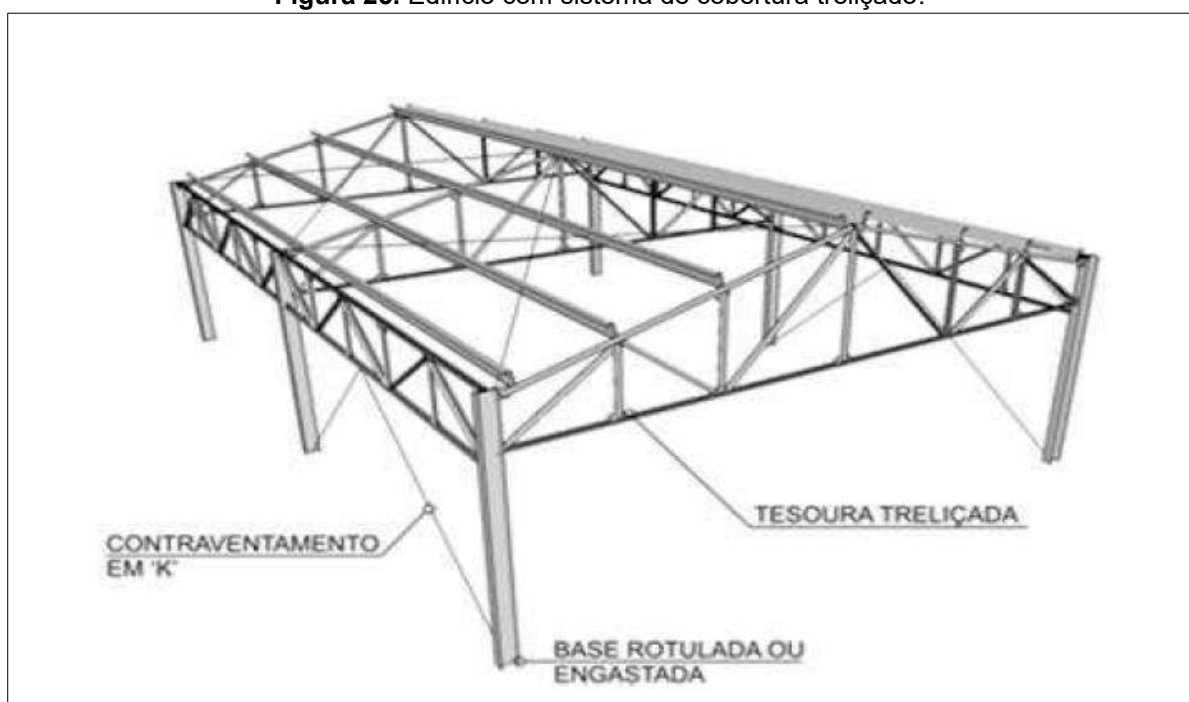
- Edifício industrial em duas águas, com vigas de cobertura e alma cheia, (Figura 24);
- Edifício industrial em duas águas, com sistemas treliçados na cobertura, (Figura 25);
- Edifício industrial em duas águas, geminado (Figura 26);
- Edifício industrial com quatro meias-águas (Figura 27);
- Cobertura em arco treliçado (Figura 28);

Figura 24. Edifício industrial com colunas e vigas em alma cheia.



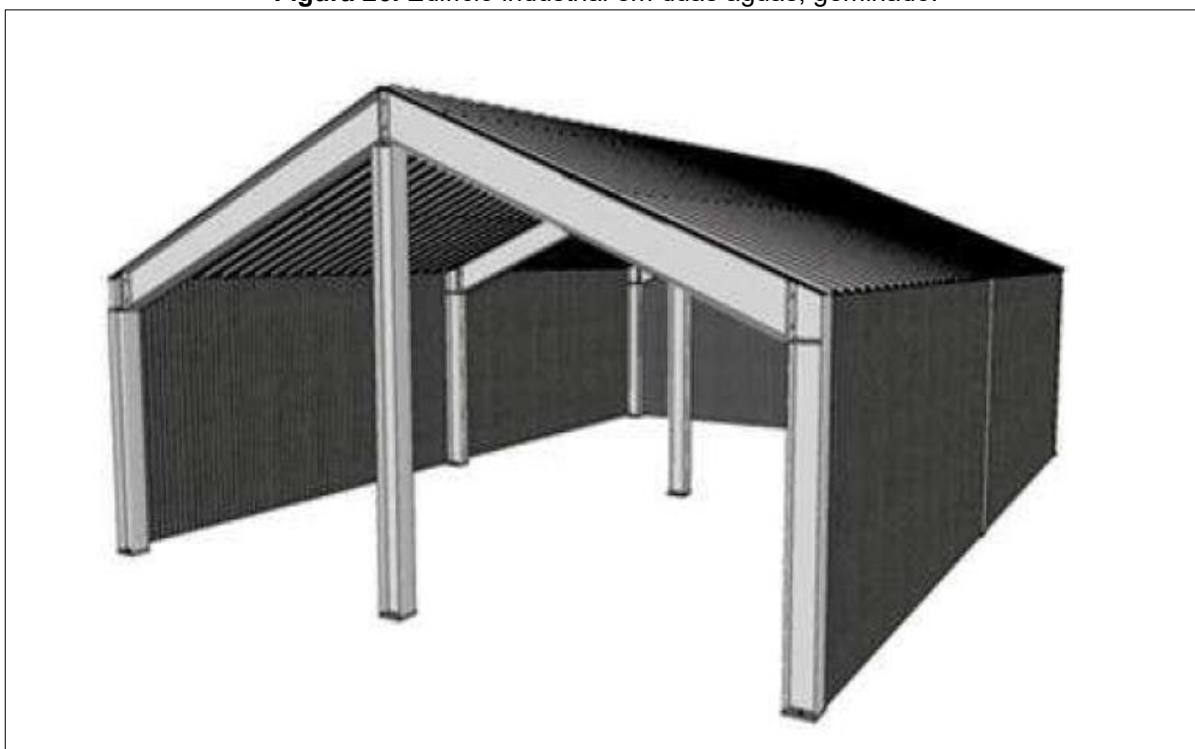
Fonte: Pravia, Ficanha e Fabeane (2013).

Figura 25. Edifício com sistema de cobertura treliçado.



Fonte: Pravia, Ficanha e Fabeane (2013).

Figura 26. Edifício industrial em duas águas, geminado.



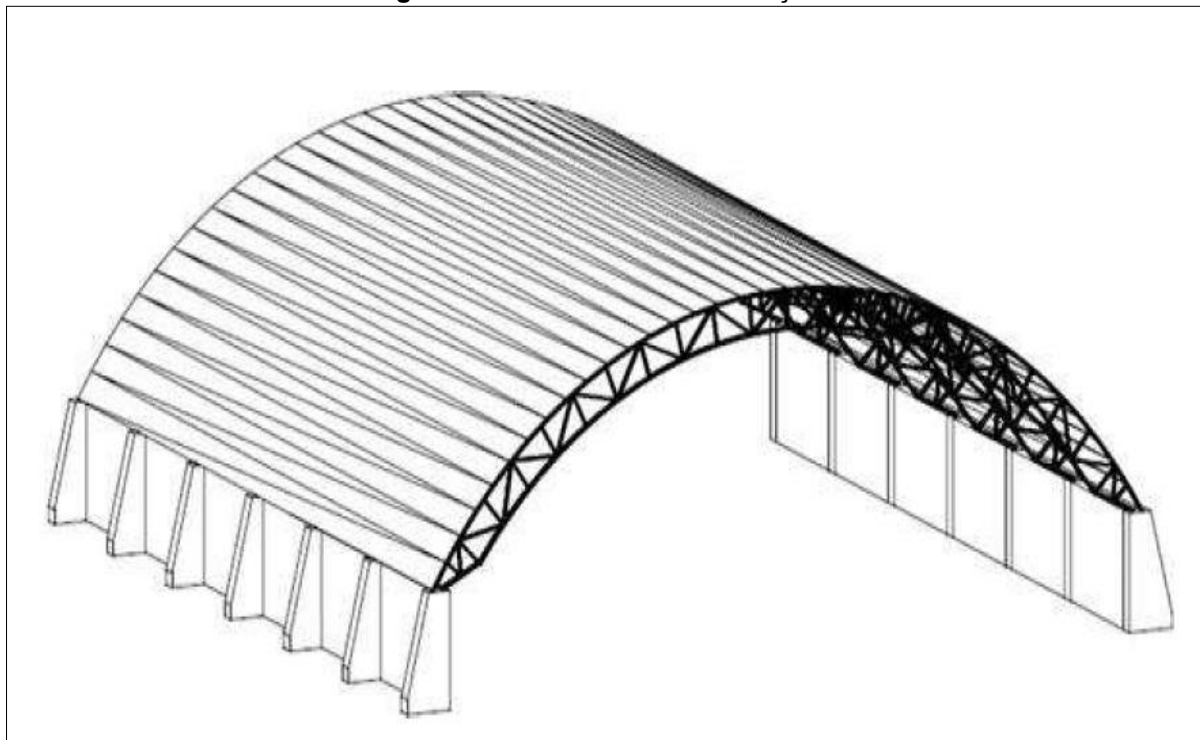
Fonte: Pravia, Ficanha e Fabeane (2013).

Figura 27. Edifício industrial em quatro meias-águas, geminado.



Fonte: Pravia, Ficanha e Fabeane (2013).

Figura 28. Cobertura em arco treliçado.



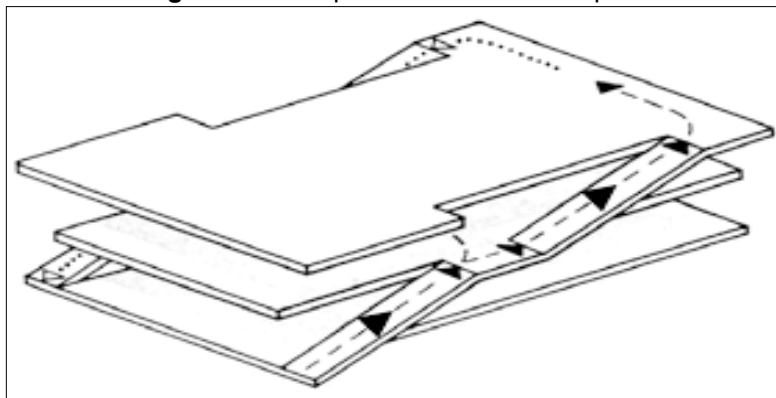
Fonte: Pravia, Ficanha e Fabeane (2013).

1.3.5.1 Edifício Garagem

Os edifícios garagem, são estruturas de concreto ou aço, construídas em andares para o estacionamento de automóveis, motocicletas ou outros veículos.

Bevilaqua (2010) divide os edifícios garagem em 3 grandes grupos: edifícios com rampas de acesso aos veículos, com elevadores que transportam os veículos entre os pavimentos e os automatizados onde o transporte é realizado por dispositivos hidráulicos, sem necessidade de corredores de acesso. Os edifícios garagem com rampas de acesso são os mais utilizados no Brasil, com rampas do tipo reta ou helicoidais. Para esse trabalho, foi escolhido o edifício garagem com rampas retas entre os pavimentos, de acordo com a Figura 29.

Figura 29. Rampa reta de acesso simples.



Fonte: Bevilaqua (2018).

1.3.6 Ações na estrutura

As ações na estrutura seguem o item 4.7 da norma NBR 8800 levando-se em conta os estados limites últimos e de serviço.

1.3.6.1 Ações permanentes

São as ações que ocorrem com valores praticamente constantes durante toda a vida útil da construção. São divididas em direta e indireta. A primeira é constituída pelo peso próprio e das instalações permanentes suportados pela estrutura. A segunda é constituída pelas deformações, deslocamentos de apoio e imperfeições geométricas (NBR 8800:2008).

Na ausência de informações mais precisas sobre a carga de cada componente, as ações geradas por estes materiais podem ser pesquisadas na ABNT NBR 6120 ou em catálogos de fabricantes.

1.3.6.2 Ações variáveis

São aquelas que ocorrem variações significativas durante a vida útil da construção. São causadas pelo uso e ocupação da edificação devido a sobrecargas de pisos e coberturas, ação do vento, equipamentos, entre outros (NBR 8800:2008). O Anexo B da NBR 8800 informa as recomendações aplicadas as estruturas.

1.3.6.3 Ações excepcionais

São ações que tem duração extremamente curta e probabilidade muito baixa de ocorrer durante a vida útil da construção. Devem ser consideradas nos projetos de determinadas estruturas que em cada caso particular terá valores definidos por normas brasileiras específicas. Como exemplo tem-se: explosões, choques de veículos, incêndios, enchentes e sismos excepcionais (NBR 8800:2008).

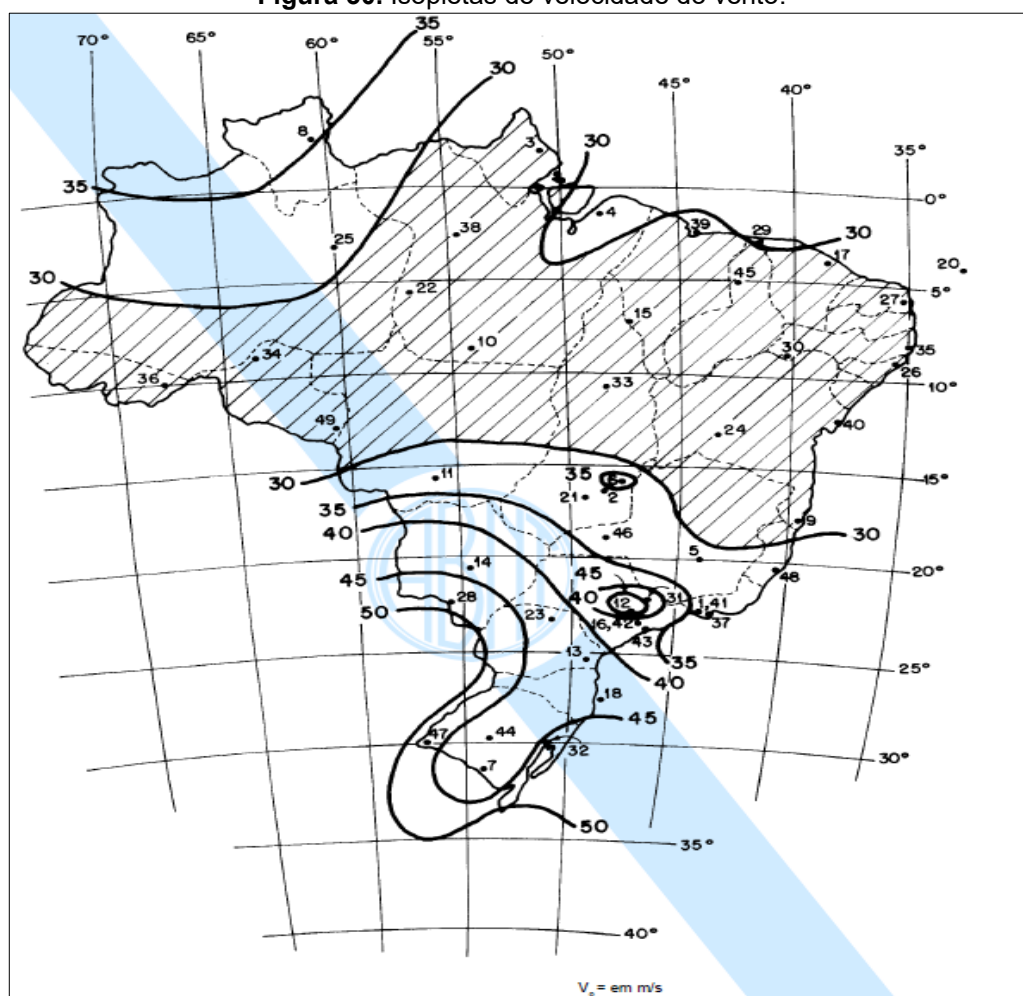
1.3.6.4 Ação do vento

A ação do vento atuando na estrutura deve ser calculada de acordo com a ABNT NBR 6123 (Forças devidas ao vento em edificações). A seguir será descrito o passo a passo para calcular a carga do vento atuante na estrutura seguindo esta norma.

a) Velocidade Básica do Vento

Para a escolha da velocidade básica do vento, utiliza-se a isopleta fornecida pela NBR 6123, de acordo com a Figura 30.

Figura 30. Isopletas de velocidade do vento.



Fonte: NBR 6123.

Dessa forma, a norma diz que a velocidade escolhida se refere à velocidade máxima atuando na estrutura por 3 segundos que pode ser excedida em média uma vez a cada 50 anos, a uma altura de 10 m sobre o nível do terreno em um lugar aberto e plano.

b) Fatores S_1 , S_2 e S_3

- Fator topográfico (S_1): Leva em consideração as grandes variações da superfície do terreno, disponível no Anexo A.
- Fator de rugosidade (S_2): É obtido definindo-se uma categoria para o terreno e uma classe para a edificação, conforme Anexo B.
- Fator estatístico (S_3): considera o grau de segurança e a vida útil da edificação, com base em um período de 50 anos. É mostrado na Figura 31.

Figura 31. NBR 6123 – 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

Fonte: NBR 6123.

c) Velocidade característica do vento e pressão dinâmica

A velocidade característica (V_k) é determinada pela equação:

$$V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3, \quad (4)$$

a pressão dinâmica pode ser determinada por:

$$q = 0.613 \cdot V_k^2. \quad (5)$$

d) Determinação dos coeficientes de pressão externa e interna

O Anexo C apresenta a tabela para o cálculo dos coeficientes de pressão externa para paredes encontrado na norma NBR 6123 para diversos tipos de edificação. Para uma edificação retangular, verificam-se a altura (h), a largura (b) e comprimento (a) da edificação.

No Anexo D é especificado o coeficiente de pressão para os telhados de duas águas simétricos para edificações de planta retangular.

O cálculo dos coeficientes de pressão interna é feito de acordo com as indicações do item 6.2 da NBR 6123. Porém, caso tenha definidas as dimensões das aberturas fixas e móveis, utiliza-se o Anexo D da mesma norma para o cálculo.

e) Combinações dos coeficientes de pressão externa e interna

Nesta etapa, com os coeficientes de pressão externas e internas já calculados é preciso fazer as combinações para as coberturas e pórticos para os ângulos de 0° e 90° de forma a selecionar os casos mais desfavoráveis para a estrutura.

f) Determinação das forças estáticas devidas ao vento

Com os valores das combinações mais desfavoráveis definidos no item anterior, para obter a carga final estática basta multiplicar os coeficientes de pressão pela pressão dinâmica também definida no item c) deste tópico.

1.3.7 Dimensionamento da estrutura

De acordo com Pfeil e Pfeil (2009) o objetivo de um projeto estrutural é garantir a segurança da estrutura de forma a evitar o seu colapso e garantir o bom desempenho da mesma afastando-se a ocorrência de grandes deslocamentos, vibrações e danos locais.

Pfeil e Pfeil (2009, p.34) também ressalva que as etapas de um projeto estrutural podem ser reunidas em três fases:

- a) Anteprojeto ou projeto básico, quando são definidos o sistema estrutural, os materiais a serem utilizados e o sistema construtivo;
- b) Dimensionamento ou cálculo estrutural, fase na qual são definidas as dimensões dos elementos da estrutura e suas ligações de maneira a garantir a segurança e o bom desempenho da estrutura;
- c) Detalhamento, quando são elaborados os desenhos executivos da estrutura contendo as especificações de todos os seus componentes;

As fases de dimensionamento e detalhamento, além dos conhecimentos de análise estrutural e resistência dos materiais, é utilizado um grande número de regras e recomendações, citadas a seguir (PFEIL:PIFEIL, 2009, p.35).

- a) Critérios de garantia de segurança;
- b) Padrões de testes para caracterização dos materiais e limites dos valores das características mecânicas;
- c) Definição de níveis de carga que representam a situações mais desfavoráveis;
- d) Limites de tolerância para imperfeições na execução;
- e) Regras construtivas etc.;

As regras e especificações são reunidas em documentos oficiais denominados normas utilizadas por todos os engenheiros na elaboração de projetos.

1.3.7.1 Método dos estados limites

Pinheiro (2005) define estados limites como a região de ruptura mecânica do componente estrutural ou o deslocamento excessivo do mesmo, de forma que torne a estrutura ineficaz. Neste método, está incluso os estados elásticos e plásticos da estrutura.

Para a norma NBR 8800, é preciso considerar dois métodos para o cálculo estrutural, os estados limites últimos (ELU) e os estados limites de serviço (ELS). No dimensionamento da estrutura, a norma exige que nenhum desses estados limites sejam excedidos quando a estrutura for submetida a todos as ações de carga descritas no item 1.3.6.

1.3.7.1.1 Condições usuais relativa aos estados-limites últimos (ELU)

Os estados limites últimos são destinados ao dimensionamento e estão relacionadas as combinações mais desfavoráveis atuando na estrutura em toda a vida útil, durante sua construção ou quando atuar uma ação especial ou excepcional (NBR 8800:2008).

Este método é representado pela desigualdade do tipo:

$$\theta(S_d, R_d) \geq 0,$$

onde:

S_d – Representa os valores de cálculo das ações atuantes obtidos nas combinações ultimas;

R_d – Representa os valores de cálculo dos esforços resistentes, obtidos em diversas partes da norma NBR 8800:2008.

Dessa maneira, quando se verifica isoladamente a segurança em relação a cada um dos esforços atuantes na estrutura, a seguinte relação precisa ser obedecida:

$$R_d \geq S_d.$$

1.3.7.1.2 Condições usuais relativa aos estados-limites de serviço (ELS)

Os estados limites de serviço referem-se as verificações de usabilidade, conforto e confiança da estrutura relacionados ao desempenho em condições normais de utilização (NBR 8800:2008).

Este método é representado pela desigualdade do tipo:

$$S_{ser} \leq S_{lim},$$

onde:

S_{ser} – Representa os valores dos efeitos estruturais obtidos com base nas combinações de serviço das ações;

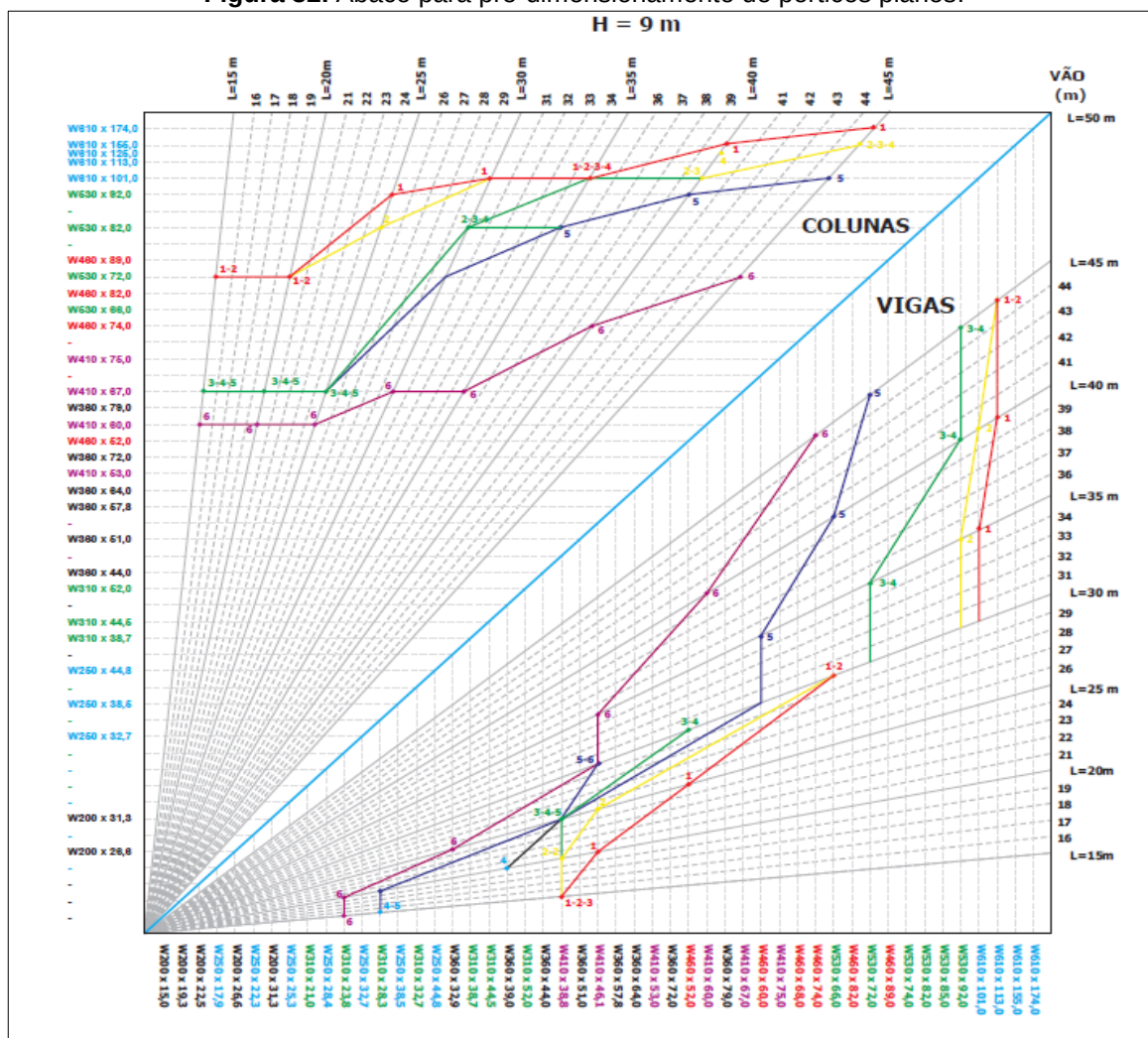
S_{lim} - Representa os valores-limites adotados para esses efeitos (deslocamentos máximos) fornecidos pelo Anexo C da NBR 8800:2008.

1.3.7.2 Pré-dimensionamento de barras

De acordo com Melo (2013), o pré-dimensionamento consiste numa estimativa inicial das dimensões dos perfis dos elementos estruturais. Alguns conceitos estão relacionados ao pré-dimensionamento de estruturas: interação da estrutura com o projeto arquitetônico, criação do projeto estrutural, identificação dos elementos estruturais e os aspectos que influencia seu comportamento (vão, condições de apoio e carregamentos, esforços, deslocamentos etc.), aspectos construtivos e normativos, entre outros.

Dessa maneira, para calcular a estrutura, inicialmente é necessário realizar o pré-dimensionamento, que serve para determinar as dimensões iniciais das peças. Na literatura, a maioria dos autores trata desse tema de maneira simplificada, em geral através de fórmulas e ábacos simplificados. A Figura 32, meramente ilustrativa, mostra o ábaco disponibilizado pela Gerdau. No entanto, como esses métodos têm pouca precisão, atualmente, considera-se a experiência do projetista tomando por base seções comerciais.

Figura 32. Ábaco para pré-dimensionamento de pórticos planos.

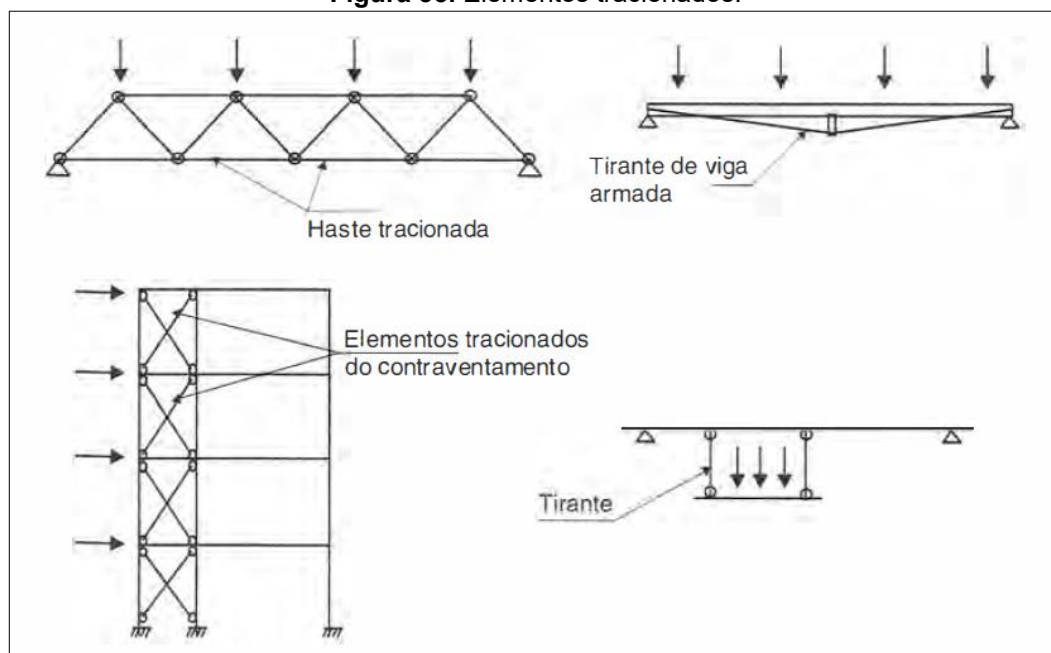


Fonte: Gerdau - Galpões em pórticos com perfis estruturais laminados (2012).

1.3.7.2.1 Dimensionamento de barras à Tração

De acordo com Pfeil e Pfeil (2009, p.47), as peças tracionadas estão sujeitas às solicitações de tração axial ou tração simples. As peças tracionadas são empregadas nas estruturas sob diversas formas, como mostra a Figura 33. Alguns componentes estruturais citados no tópico 1.3.4.2 estão sujeitos a tração, dentre eles:

- Tirantes ou pendurais;
- Contraventamentos;
- Travamento de vigas ou pilares;
- Barras tracionadas de treliças;

Figura 33. Elementos tracionados.

Fonte: Pfeil e Pfeil (2009).

As barras tracionadas podem ser em formato chato ou redondo, sendo perfis laminados simples (tipo I, L, U) ou perfis compostos.

Conforme o item 5.2 da NBR 8800 no dimensionamento de barras submetidas a tração, deve ser atendida a condição:

$$N_{t,Sd} \leq N_{t,Rd},$$

onde:

$N_{t,Sd}$ = Força axial de tração solicitante;

$N_{t,Rd}$ = Força axial de tração resistente.

1) Força axial de tração resistente $N_{t,Rd}$

A força axial de tração resistente $N_{t,Rd}$ deve ser o menor dos valores obtidos nas equações abaixo, considerando os estados limites últimos de escoamento da seção bruta e ruptura da seção líquida, expressas por:

a) Escoamento da seção bruta

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{a1}} \quad (6)$$

b) Ruptura da seção líquida

$$N_{t,Rd} = \frac{A_e f_u}{\gamma_{a2}}, \quad (7)$$

onde:

A_g - Área bruta da seção transversal da barra;

A_e - Área líquida efetiva da seção transversal da barra, definido em seguida;

f_y - Resistência ao escoamento;

f_u - Resistência à ruptura;

γ_{a1} - Coeficiente de ponderação relacionado ao escoamento, flambagem e instabilidade;

γ_{a2} - Coeficiente de ponderação relacionado à ruptura.

2) Área líquida efetiva

A área líquida efetiva de uma barra prismática, A_e , é obtida de acordo com a equação a seguir. Para barras com furos, ou com extremidades rosqueadas, a área líquida efetiva é obtida por equações específicas encontradas na NBR 8800.

$$A_e = C_t A_n \quad (8)$$

onde:

C_t - Coeficiente de redução da área líquida, conforme item 5.2.5 da NBR 8800

A_n - Área líquida da barra.

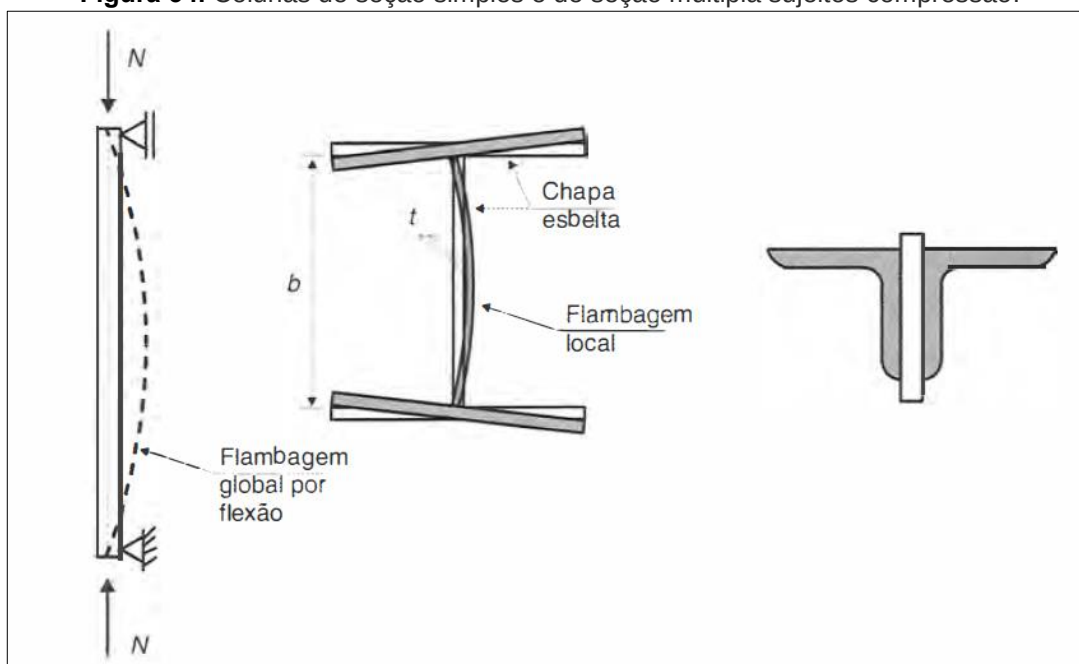
3) Limite de esbeltez para barras tracionadas

Com relação ao limite de esbeltez, a NBR 8800 recomenda que a maior relação entre o comprimento destravado e o raio de giração (L/r) não supere 300.

1.3.7.2.2 Dimensionamento de barras à Compressão

De acordo com Pfeil e Pfeil (2009, p.119) é chamado de coluna a peça sujeita a compressão centrada. A solicitação de compressão axial é encontrada em treliças, peças de travamento e pilares. Essas peças tendem a deslocar lateralmente, processo conhecido como flambagem, que provoca o efeito de curvatura. As peças comprimidas podem ser de seção simples, ou composta, como mostra a Figura 34.

Figura 34. Colunas de seção simples e de seção múltipla sujeitos compressão.



Fonte: Pfeil e Pfeil (2009, p.119).

Conforme o item 5.3 da NBR 8800 no dimensionamento de barras submetidas a compressão, deve ser atendida a condição:

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

onde:

$N_{c,Sd}$ = Força axial de compressão solicitante;

$N_{c,Rd}$ = Força axial de compressão resistente.

1) Força axial compressão resistente $N_{c,Rd}$

A força axial de compressão resistente $N_{c,Rd}$ de uma barra, associada aos estados limites últimos por flexão, torção ou flexo-torção e de flambagem local, deve ser determinada pela equação:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi Q A_g f_y}{\gamma_{a1}}, \quad (9)$$

onde:

χ - Fator de redução associado à resistência à compressão, definido adiante;

Q - Fator de redução total associado à flambagem local, cujo valor deve ser obtido no Anexo F;

A_g - Área bruta da seção transversal da barra;

f_y - Resistência ao escoamento;

γ_{a1} - Coeficiente de ponderação relacionado ao escoamento, flambagem e instabilidade.

2) Fator de redução associado a resistência à compressão χ

O fator de redução associado a resistência a compressão (χ) é dado por:

$$\text{Para } \lambda_0 \leq 1,5 : \chi = 0,658^{\lambda_0^2} \quad (10)$$

$$\text{Para } \lambda_0 \geq 1,5 \quad \chi = \frac{0,877}{\lambda_0^2} \quad (11)$$

onde:

λ_0 - É o índice de esbeltez reduzido, encontrado no Anexo E.

O valor do índice de esbeltez reduzido é obtido pela equação:

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q A_g f_y}{N_e}} \quad (12)$$

onde:

N_e - É a força axial de flambagem elástica, encontrada no Anexo E da NBR 8800, que depende do tipo de seção da barra.

3) Limitação do índice de esbeltez

No item 5.3.4 da norma NBR 8800 descreve que, tomando como o maior valor da relação KL/r , onde K é o coeficiente de flambagem encontrado na Figura 35, e L é o comprimento destravado, não deve ser superior a 200.

Figura 35. Coeficiente de flambagem por flexão de elementos isolados.

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
A linha tracejada indica a linha elástica de flambagem						
Valores teóricos de K_x ou K_y	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
Valores recomendados	0,65	0,80	1,2	1,0	2,1	2,0
Código para condição de apoio	 Rotação e translação impedidas Rotação livre, translação impedida Rotação impedida, translação livre Rotação e translação livres					

Fonte: NBR 8800.

1.3.7.2.3 Dimensionamento de barras à Flexão

Pinheiro (2005) ressalva que para o dimensionamento de barras à flexão, é necessário determinar, além do momento fletor, quais os esforços internos atuam na barra.

Pfeil e Pfeil (2009) diz que em vigas sujeitas à flexão simples calculam-se o momento e esforço cortante resistentes de projeto para compará-los aos esforços atuantes na estrutura. Deve-se também verificar os deslocamentos dentro dos estados limites de utilização.

De acordo com o item 5.4 da NBR 8800, no dimensionamento de barras submetidas a momento fletor e força cortante, devem ser seguidas as condições:

$$M_{Sd} \leq M_{Rd} \text{ e}$$

$$V_{Sd} \leq V_{Rd},$$

onde:

M_{Sd} - Momento fletor solicitante;

M_{Rd} - Momento fletor resistente, descrito a seguir;

V_{Sd} - Força cortante solicitante;

V_{Rd} - Força cortante resistente; descrita a seguir.

1) Momento fletor resistente M_{Rd}

No item 5.4.2 da NBR 8800 ressalva que o momento fletor resistente, M_{Rd} , deve ser determinado de acordo com os Anexos G ou H desta norma. Dessa forma, devem ser considerados, conforme o caso, os estados limites últimos de flambagem lateral com torção (FLT), flambagem local da mesa comprimida (FLM), flambagem local da alma (FLA), entre outros.

Para assegurar a validade da análise elástica, o momento fletor resistente não poder ser maior que o valor obtido na equação 13:

$$\frac{1,5 W f_y}{\gamma_{a1}} \quad (13)$$

onde:

W - Módulo de resistência elástica mínima da seção transversal da barra em relação ao eixo de flexão.

Para o dimensionamento das vigas, mesmo com furos e parafusos nas mesas, com ou sem chapas de reforço, podem ser calculadas ao momento fletor com base nas propriedades da seção bruta, desde que a seguinte relação seja atendida:

$$f_u A_{fn} \geq Y_t f_y A_{fg},$$

onde:

A_{fn} - Área líquida da mesa tracionada, calculada no item 1.3.7.3.1.2;

A_{fg} - Área bruta da mesa tracionada;

Y_t - Coeficiente igual a 1,0 para $f_y/f_u \leq 0,8$ e igual a 1,10 se $f_y/f_u > 0,8$ (coef. Segurança)

se

$$f_u A_{fn} < Y_t f_y A_{fg}.$$

O momento fletor resistente deve ser limitado na região dos furos da mesa tracionada pelo estado limite de ruptura por flexão, de acordo com a equação:

$$M_{Rd} = \frac{1}{\gamma_{a1}} \frac{f_u A_{fn}}{A_{fg}} W_t, \quad (14)$$

onde:

W_t - Módulo de resistência elástico ao lado tracionado da seção em relação ao eixo de flexão.

2) Força cortante resistente V_{Rd}

Os valores calculados da força cortante resistente, V_{Rd} , das barras fletidas, considerando os estados limites últimos de escoamento e flambagem por cisalhamento. Os itens 5.4.3.1 a 5.4.3.6 da NBR 8800 mostra toda sequência de cálculo, de acordo com o tipo de perfil, para determinar o valor de V_{Rd} .

2. METODOLOGIA

De acordo com o item 1.1, o objetivo deste trabalho é projetar um edifício garagem de três pavimentos em estrutura de aço que tem por finalidade o aumento do número de vagas no estacionamento interno do Instituto Federal do Piauí, Campus Teresina Central. Para isso, utilizou-se uma ferramenta de cálculo estrutural, o Cype 3D.

O Cype 3D é um eficiente e prático programa pensado para realizar o cálculo de estruturas em 3D de barras de aço, mistas, alumínio ou madeira, incluindo o dimensionamento de ligações (soldadas e parafusadas) e as fundações. O programa dimensiona os perfis chegando à sua otimização máxima para os carregamentos aplicados. Na Figura 36 disponibilizado no site do software, é possível observar um galpão sendo projetado.

Figura 36. Vista 3D.



Fonte: Cype 3D (2018).

2.1 O PROJETO

Para o melhor entendimento da metodologia adotada para a realização do projeto, este foi dividido nos seguintes tópicos.

2.1.1 Características gerais do projeto

Trata-se de um projeto localizado em uma área urbanizada do centro de Teresina com grande fluxo de pessoas e veículos diariamente, em terreno plano e com pouco espaço para depósito de materiais.

Para esse projeto foi realizado um estudo do atual estacionamento da instituição, que a partir da planta baixa do mesmo foi realizada a definição das características gerais da edificação que será detalhado adiante.

Posteriormente, foi lançada a estrutura com todos as cargas atuantes no Cype 3D, para assim suceder-se a uma série de simulações de forma a obter os perfis mais adequados para a estrutura.

2.1.2 O código de obras e edificações de Teresina

Inicialmente para o projeto, fez-se a medição de toda área útil do atual estacionamento interno da instituição. Não foi realizado o estudo de solo devido não fazer parte dos objetivos desse trabalho projetar as fundações do edifício.

Posteriormente, foi realizado um estudo de concepção estrutural, de forma a obter o melhor arranjo da estrutura para o local da obra. Para isso, precisou-se consultar o código de obras e edificações de Teresina (Lei Complementar nº 4.729/2015) para que toda estrutura se adeque dentro dessas regras.

- **Vagas de estacionamento**

Com relação as vagas de estacionamento, foram necessárias consultar as dimensões mínimas necessárias para divisão do número de vagas. O tipo de vaga escolhida para esse projeto foi de 90° com sentido duplo para via de circulação, Tabela 4.

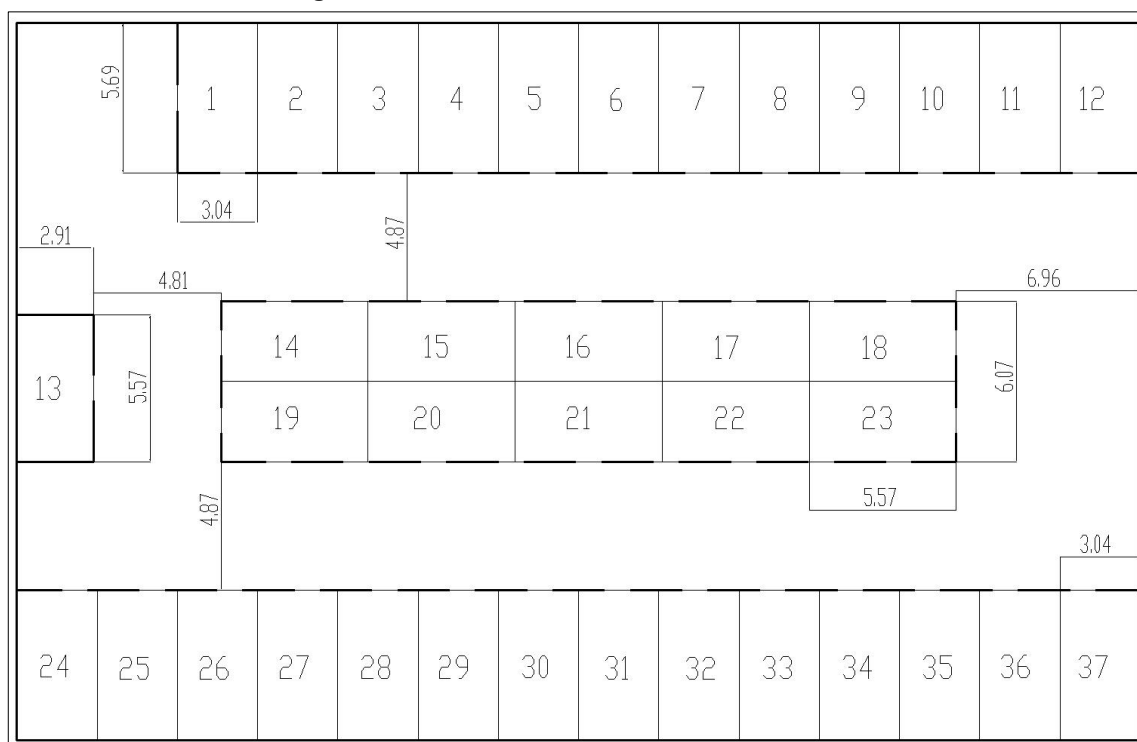
Tabela 4. Dimensões mínimas de vagas e vias em estacionamentos.

DIMENSÕES MÍNIMAS DE VAGAS E VIAS EM ESTACIONAMENTOS COLETIVOS						
Tipo de Estacionamento		90°	60°	45°	30°	Paralelo
Largura das Vagas		2,45m	2,30m	2,30m	2,30m	2,20m
Comprimento das Vagas		5,00m	5,00m	5,00m	5,00m	6,00m
Largura da Via ¹	Sentido Único	5,30m	4,00m	4,00m	3,50m	3,00m
	Sentido Duplo	5,80m	5,40m	5,40m	5,40m	5,40m

Obs:
 1 - Nas vagas paralelas, o comprimento das vagas inclui a área para manobra (baliza) e para as demais vagas, a dimensão representa o comprimento útil da vaga.
 2 - No caso de duas vagas, com uma vaga presa, o comprimento mínimo total é de 9,00m.
 3 - ⁽¹⁾Em algumas situações, o Corpo de Bombeiros pode indicar vias mais largas para circulação e manobra de veículos de atendimento a casos de incêndio e/ou pânico.

Fonte: Lei complementar n º4.729. de 10 de junho de 2015.

O local do estacionamento atual na qual faz parte este projeto acomoda, atualmente, 37 carros com vagas a 90° e vias em sentido duplo. É importante ressaltar que, após consultar as regras do código de obras e edificações de Teresina, concluiu-se que o atual estacionamento se encontra fora dos padrões normativos. A Figura 37 mostra a planta baixa do atual estacionamento com suas medidas.

Figura 37. Planta do estacionamento em metros.

Fonte: Autoria própria (2019).

- Pé direito

De acordo com o Capítulo XXII – Art. 208 da norma vigente, o pé direito mínimo para edifício garagem é 2,20 m (dois metros e vinte centímetros), excluindo a altura das vigas. Para o projeto adotou-se um pé direito de 2,50 m (dois metros e cinquenta centímetros).

- Rampas

Como a estrutura possui três pavimentos, foi preciso dimensionar a rampa para o transporte dos veículos entre os lances. Dessa maneira, a Sessão III do código de obras foi consultada na qual consta as seguintes características:

I - Declividade máxima de 20% (vinte por cento);

II - Largura mínima de 3,00 m (três metros) quando construída em linha reta;

III - largura mínima de 3,50 m (três metros e cinquenta centímetros) quando construída em curva, sujeita esta ao raio mínimo de 6 m (seis metros) para cada sentido; e

IV - Piso antiderrapante.

Dessa forma, devido ao pouco espaço disponível para o projeto, adotou-se a declividade máxima de 20% para a rampa, que está posicionada entre dois patamares. A largura das vias para passagem dos veículos é de 6 m (seis metros).

- Escadas

De acordo com a Sessão II, art. 95. para o projeto da escada de uso coletivo, a largura deve ser o suficiente para proporcionar o escoamento do número de pessoas que dela dependem, no sentido de saída.

Para estruturas de grande fluxo de pessoas, a dimensão mínima é de 1,5 (um metro e meio) para largura. Neste projeto, a largura definida foi de 2 m (dois metros);

Com relação ao carregamento para as escadas, foi consultada a tabela 2 da norma NBR 6120.

- Elevadores

Foi providenciado o espaço para o elevador de transporte de pessoa portadora de deficiência, mas não faz parte dos objetivos desse trabalho o dimensionamento do mesmo.

2.1.3 Concepção estrutural

A concepção estrutural iniciou-se após a definição de todos os aspectos citados no item 2.1.2. Nesta etapa são definidas as características físicas da estrutura, dentre elas:

- Dimensões da edificação;
- Tipo de cobertura;
- Tipo e disposição de vigas e pilares;
- Rampas de acesso para os veículos;
- Escada para acesso aos pavimentos;

2.1.3.1 Características do edifício garagem

O edifício garagem possui as seguintes características:

- Edificação comercial de médio porte;
- Localizada em terreno plano, no centro da cidade de Teresina, Piauí;
- Galpão simétrico com pórticos equidistantes;
- Possui 3 mezaninos;
- Possui rampa de acesso aos pavimentos superiores;
- Escada em aço;
- As ligações viga-viga e viga-pilar são todas parafusadas;
- As ligações dos montantes diagonais, terças, banzos e tirantes são todas soldadas;
- Todos os pilares são engastados nas fundações;

2.1.3.2 Estrutura

Para o melhor entendimento das características estruturais, foi realizado a divisão da estrutura em galpão, escada de acesso e rampa para os veículos.

a) Galpão

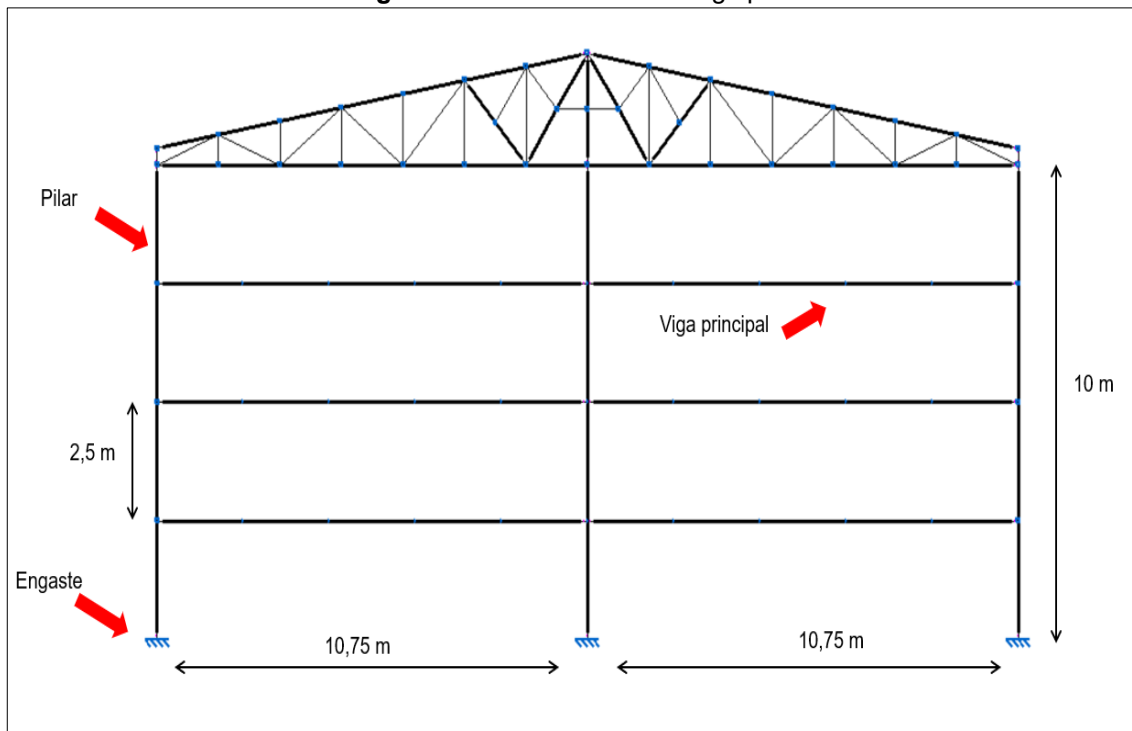
O galpão do edifício garagem é subdividido, para melhor entendimento em: pórticos, vigas principais e secundárias e treliça de cobertura.

- Pórticos

O galpão do edifício garagem possui perfis do tipo “I”, com as dimensões de acordo com o espaço disponível no atual estacionamento da instituição. Dessa forma, a estrutura possui 21,5 m x 33,6 m x 10 m, Figuras 38 e 39, com pórticos iguais e

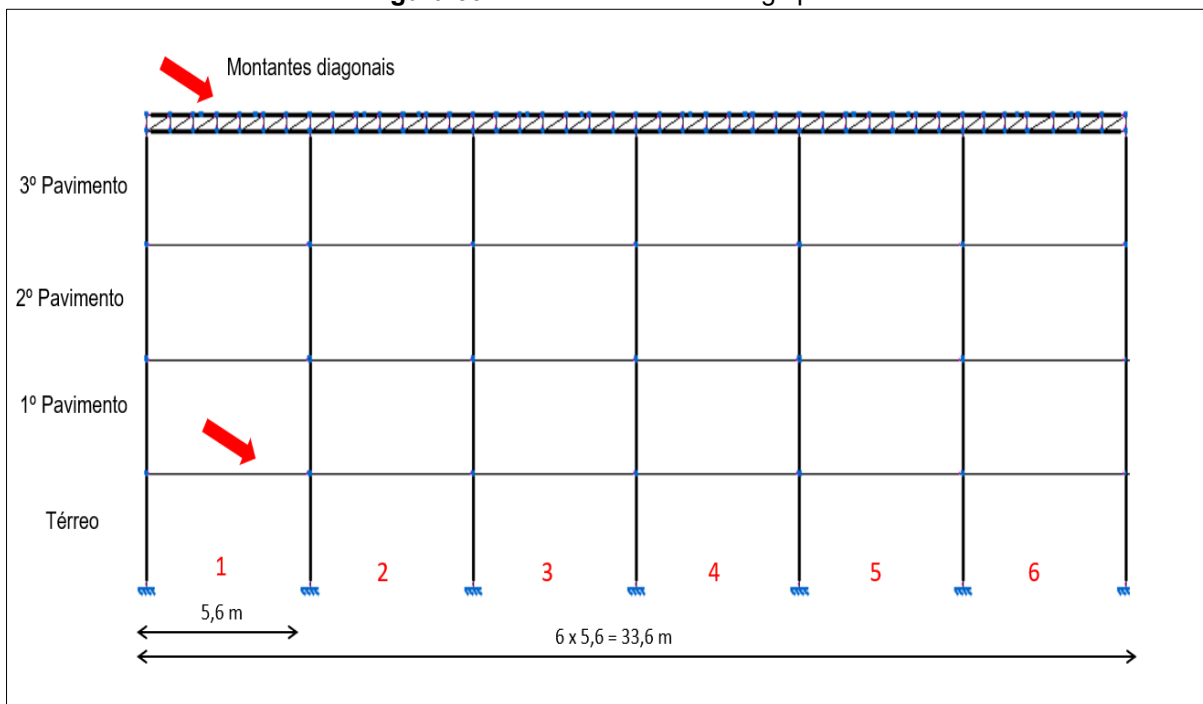
equidistantes em 5,6 m. O pé direito é de 2,5 m entre os pavimentos. Todos os pilares dos pórticos são engastados nas fundações.

Figura 38. Vista 2D frontal do galpão.



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 39. Vista 2D da lateral do galpão.

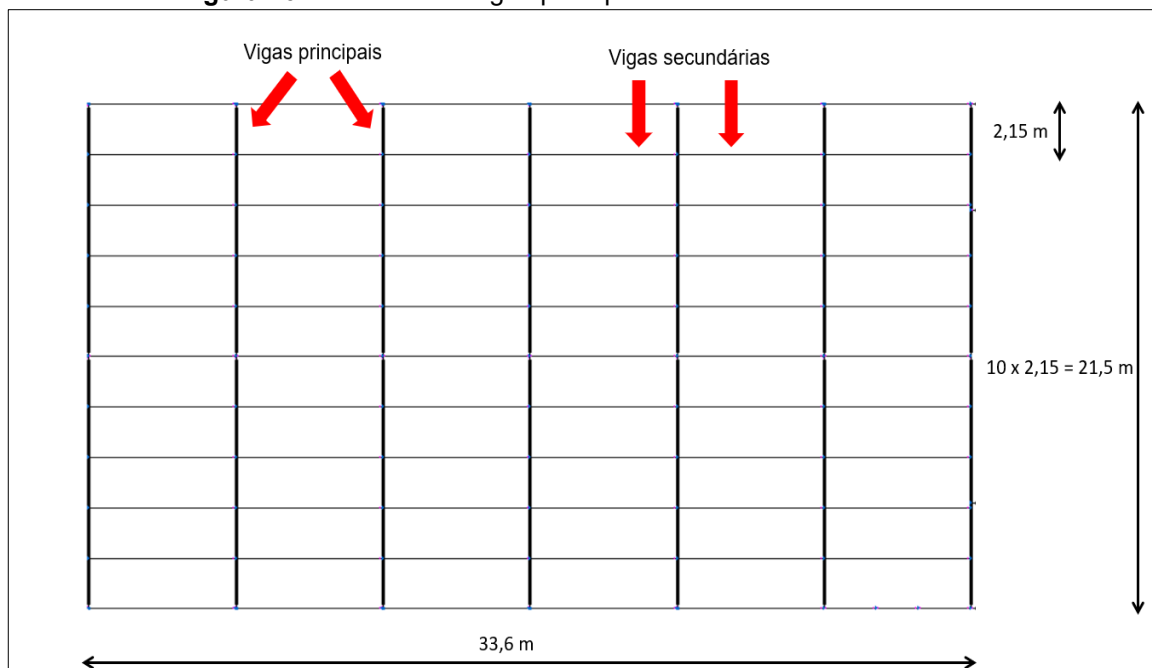


Fonte: Autoria própria (2019).

- Vigas principais e secundárias

As vigas ligam toda a estrutura recebendo e distribuindo as ações permanentes e variáveis para os pilares. As vigas principais estão contidas nos pórticos e nas laterais, já as secundárias estão localizadas internamente ao galpão, com distanciamento de 2,15 m entre si, Figura 40. Todos os perfis são do tipo “I”.

Figura 40. Vista 2D das vigas principais e secundárias do mezanino.

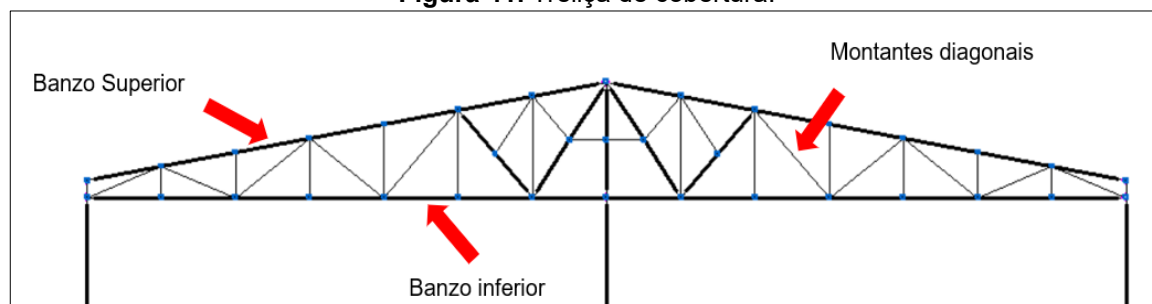


Fonte: Autoria própria (2019).

- Trelça de Cobertura

Para a trelça, utilizou-se o modelo mostrado no item 1.3.5, como mostra a Figura 41. Os montantes diagonais e banzos superiores e inferiores com perfis tipo “U”. As distancias máxima e mínima entre os banzos são 1,9 m e 0,35 m, respectivamente. As trelças nas laterais do galpão também adotam o mesmo tipo de perfil.

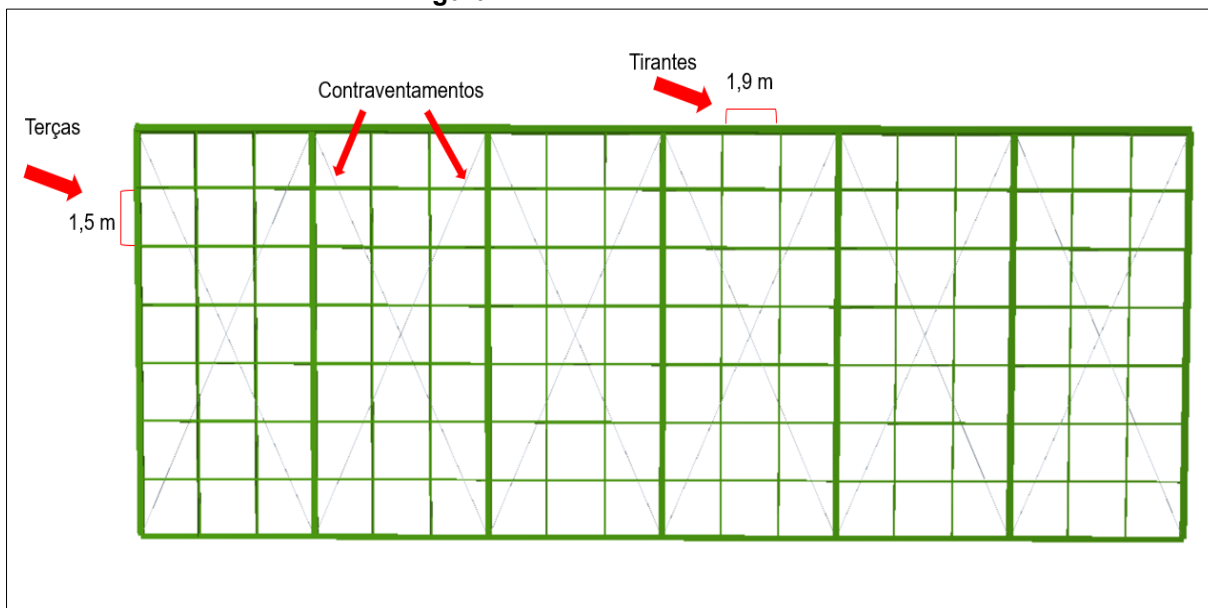
Figura 41. Trelça de cobertura.



Fonte: Autoria própria (2019).

A cobertura possui inclinação de 10° , terças em “U” espaçadas a uma distância de 1,5 m, tirantes com perfis em cantoneiras que promovem o seu travamento, distanciados em 1,9 m, evitando-se a flambagem. Para dá estabilidade a estrutura, toda a cobertura possui contraventamentos nas diagonais entre cada pórtico com perfis circulares, Figura 42.

Figura 42. Vista 2D da cobertura.



Fonte: Autoria própria (2019).

b) Rampa de acesso

A rampa de acesso para os veículos está localizada fora do galpão, pois a mesma ocuparia algumas vagas de estacionamento caso fosse instalada no interior do galpão.

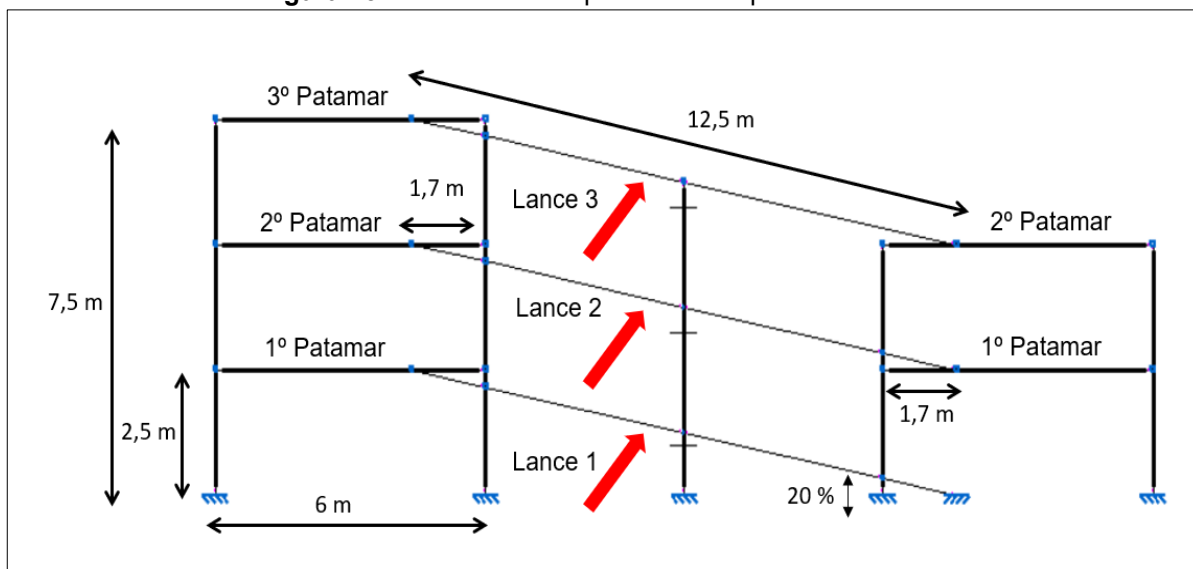
É necessário ressaltar que, para esse projeto, é preciso realizar uma obra adicional para o deslocamento da atual guarita do instituto para assim liberar espaço disponível para acomodar as rampas de acesso.

A rampa tem largura e raio de curvatura de 6 m, pé direito de 2,5 m, declividade de 20% e comprimento linear de 12,5 m. Dessa maneira, com essas dimensões é possível o tráfego de veículos com segurança, sem riscos de acidentes. Deve-se citar que é preciso colocar no início e fim de cada rampa espelhos para que os motoristas visualizem o tráfego de veículos antes de entrar ou sair da rampa.

Nesse projeto cada rampa está apoiada em patamares (exceto lance 1). Para obedecer a regra de declividade máxima prevista no código de obras de Teresina foi preciso apoiar a rampa em vigas distanciadas em 1,7 m para dentro do patamar,

Figura 43. O patamar possui dimensão de 5 m x 6 m para passagem de veículos por baixo da estrutura.

Figura 43. Vista 2D da rampa de acesso para os veículos.



Fonte: Autoria própria (2019).

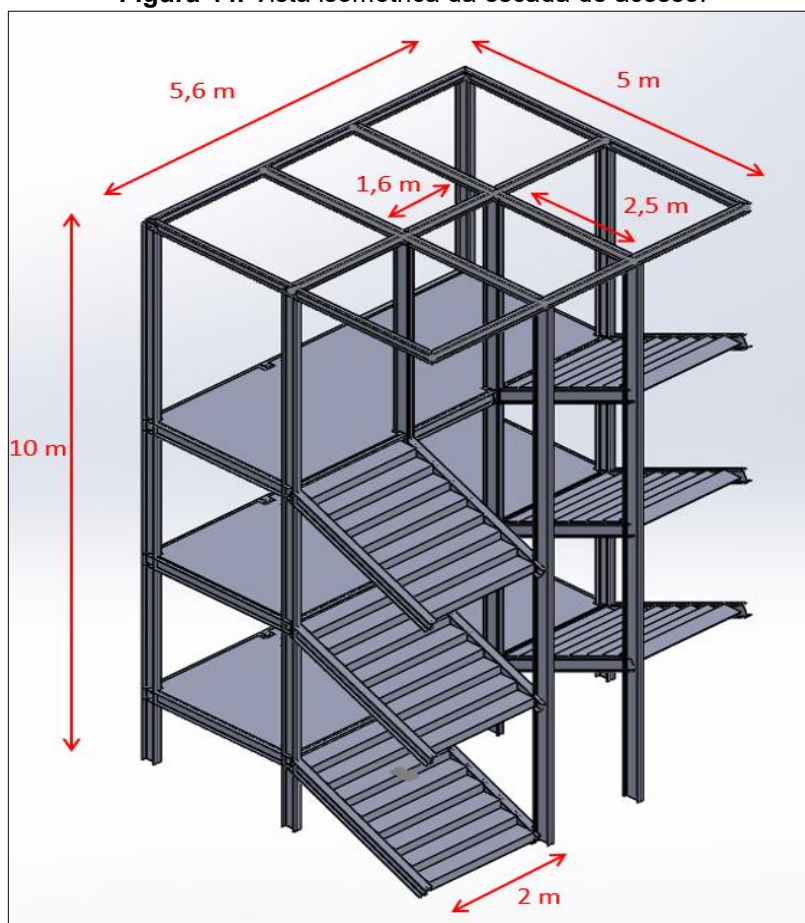
Para esse projeto, definiu-se que serão compartilhados os mesmos pilares para a rampa e para o primeiro pórtico do galpão, recebendo, portanto, o carregamento das duas estruturas.

c) Escadas de acesso

Para ter acesso aos três pavimentos, foi projetado uma estrutura em aço fora do galpão com dimensões de 5 m x 5,6 m x 10 m, que comporta todas as escadas com patamares intermediários para acesso aos mezaninos, Figura 44. As escadas possuem 2 m de largura, com patamares distanciados em 2,5 m. O Anexo F mostra as dimensões dos degraus para as escadas.

Nessa estrutura, deixou-se o espaço disponível para instalar o elevador para pessoas portadoras de deficiência com dimensões de 1,6 m x 2,5 m, não fazendo parte deste trabalho o projeto do mesmo.

Figura 44. Vista isométrica da escada de acesso.



Fonte: Autoria própria no SolidWorks (2019).

2.1.4 Critérios do dimensionamento

Para o dimensionamento desse projeto, foram seguidas as normas NBR 8800 (Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios), NBR 6120 (Cargas para o cálculo de estruturas de edificações) e NBR 6123 (Forças devido ao vento em edificações).

2.1.5 Determinação das ações atuantes na estrutura e suas combinações

Fez-se o levantamento de todos os carregamentos atuantes na estrutura. Os valores das cargas foram obtidos na norma NBR 6120 e por catálogos de fabricantes nacionais.

De acordo com as definições descritas no item 1.3.6, a Tabela 5 mostra, de forma organizada todos os carregamentos atuantes na estrutura. Já a Tabela 6 mostra como essas ações foram divididas no Cype 3D.

Tabela 5. Ações atuantes na estrutura.

Cargas atuantes na estrutura		
Permanentes	Peso próprio da estrutura	Definido automaticamente pelo software Cype 3D
	Telhado	0,046 kN/m ²
	Laje do mezanino	3 kN/m ²
Variáveis	Veículos	3 kN/m ²
	Ocupação	2 kN/m ²
	Vento	Definido com auxílio do VisualVentos
	Manutenção	2 kN/m ²

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 6. Nome das ações consideradas no cálculo.

Ação	Local
Lajes 1-2-3 Pav.	Galpão
Telhado	Cobertura
Lajes rampa	Rampa veículos
Laje escada	Escada
Veículos Galpão	Galpão
Manutenção	Telhado
Veículos rampa	Rampa
Ocupação na escada	Escada
Vento 0 °	Galpão
Vento 90°	Galpão

Fonte: Autoria própria (2019).

Com relação a carga do vento, esta foi determinada com o auxílio do software VisualVentos, que segue os procedimentos de cálculo descritos na norma NBR 6123, mencionado no referencial teórico, item 1.3.6.4.

Alguns fatores foram definidos inicialmente para o cálculo realizado pelo programa, sendo necessário colocar as características geométricas da estrutura e as áreas de abertura, como mostra a Figura 45.

Figura 45. Características geométricas e áreas de abertura da estrutura.

Geometria

Dimensões

Medidas

b 21,5 m a 33,6 m h 10 m Distância entre pórticos p 5,6 m

b1 10,75 m a1 8,40 m a2 8,40 m h1 1,90 m β 10°

Confirmar

Área das aberturas

Face	Fixa	Móvel
A1	112 m ²	0 m ²
A2	112 m ²	0 m ²
A3	112 m ²	0 m ²
B1	112 m ²	0 m ²
B2	112 m ²	0 m ²
B3	112 m ²	0 m ²
C1	107,5 m ²	0 m ²
C2	107,5 m ²	0 m ²
D1	107,5 m ²	0 m ²
D2	107,5 m ²	0 m ²

Fonte: VisualVentos (2019).

De acordo com a isopletas de velocidade do vento mostrado no item 1.3.6.4, a velocidade escolhida foi de 30 m/s, pois o local da obra localiza-se na cidade de Teresina, Piauí. Com relação aos fatores S_1 , S_2 e S_3 , estes foram definidos de acordo com as características locais da obra.

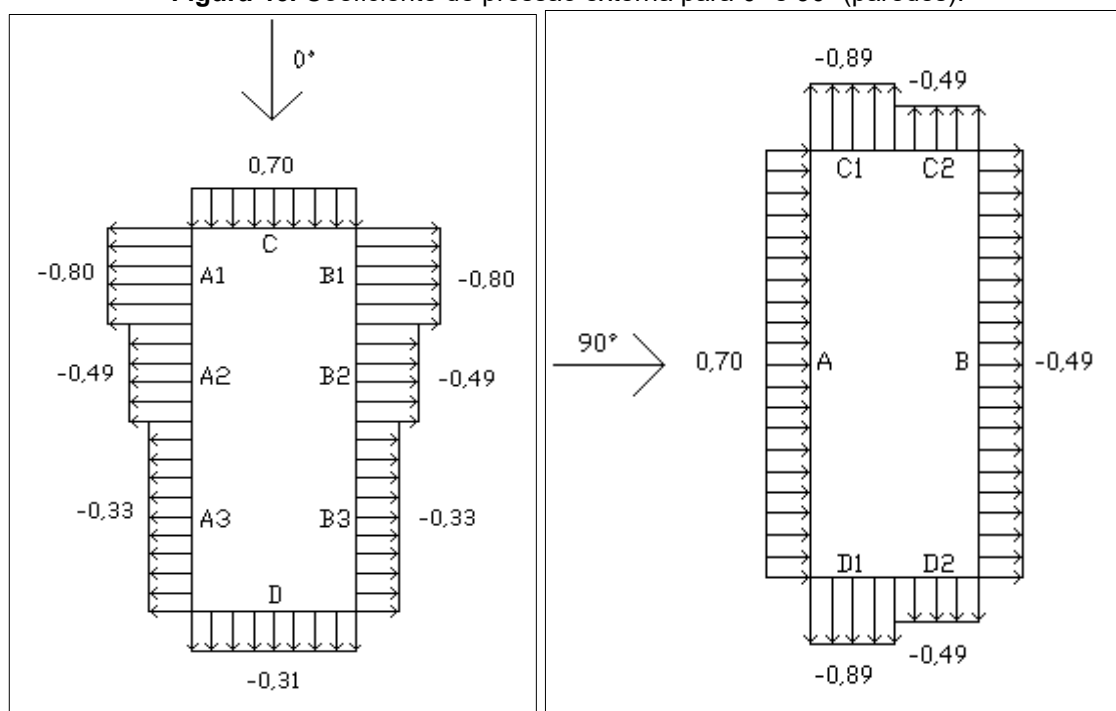
- $S_1 = 1$ (o local da obra possui terreno plano);
- $S_2 = 0.74$ (categoria número V e classe tipo B);
- $S_3 = 1$. (grupo 2);

Dessa forma, após a definição dessas características iniciais, o software realiza o cálculo dos coeficientes de pressão interna e externas e suas combinações, mostrando os esforços resultantes para ângulos de 0° e 90°. Cabe ao usuário escolher a situação mais desfavorável para estrutura e utiliza-la no cálculo da obra.

Com o auxílio do software VisualVentos, foi possível obter os seguintes valores:

- Coeficiente de pressão externa – Paredes $C_{pe} \text{ médio} = -0,99$

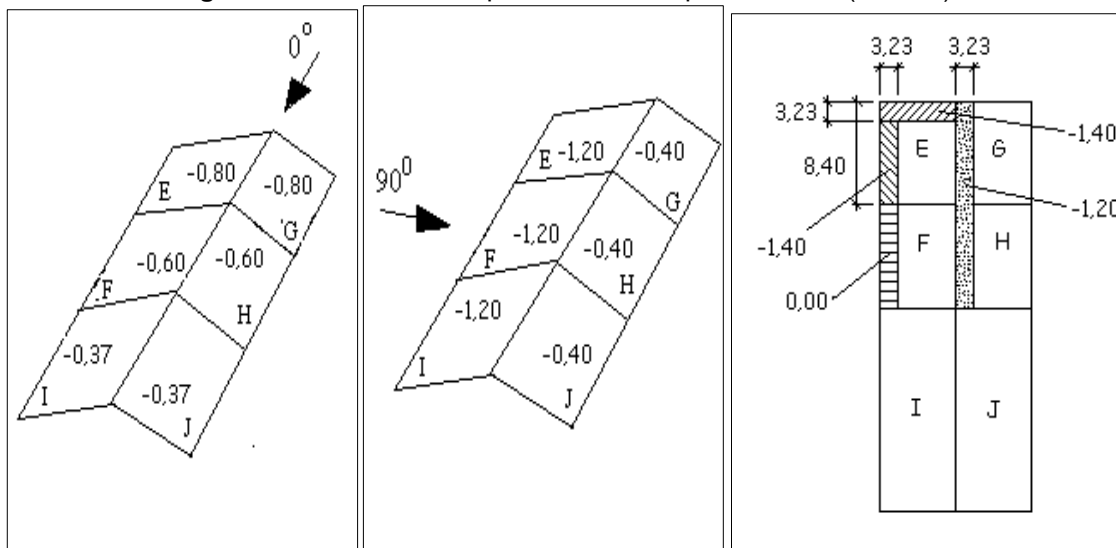
Figura 46. Coeficiente de pressão externa para 0° e 90° (paredes).



Fonte: VisualVentos (2019).

- Coeficiente de pressão externa – Telhado

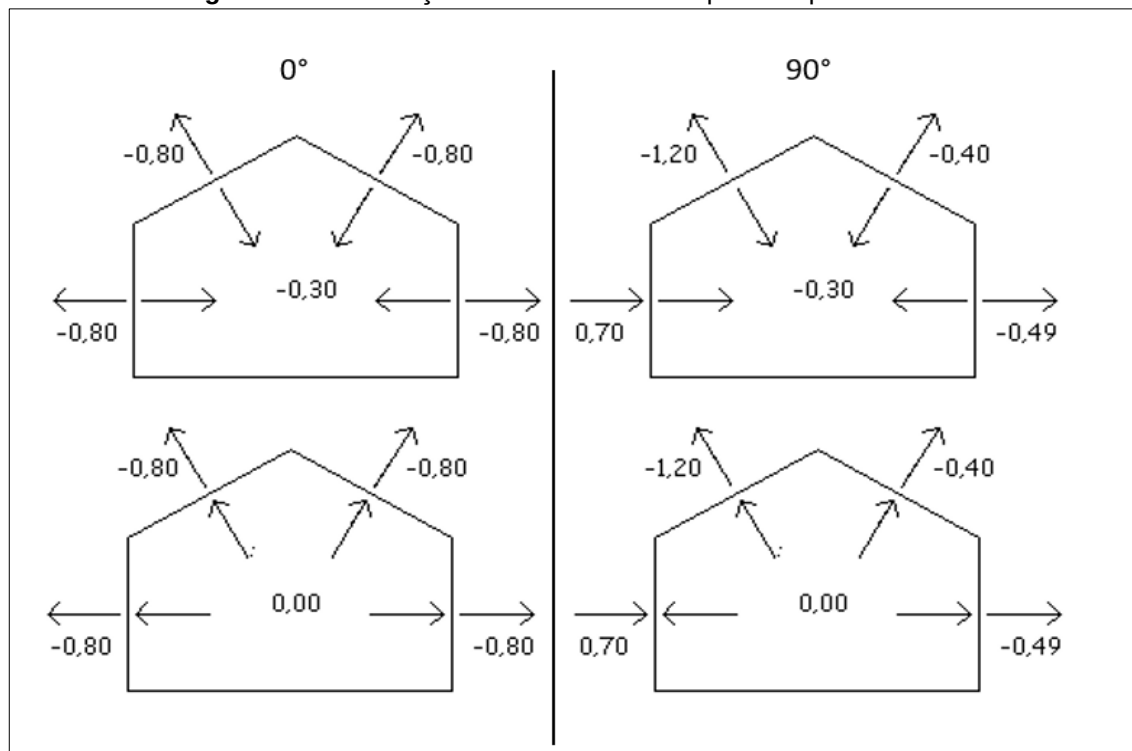
Figura 47. Coeficiente de pressão externa para 0° e 90° (telhado).



Fonte: VisualVentos (2019).

- Combinação dos coeficientes de pressão para 0° e 90°

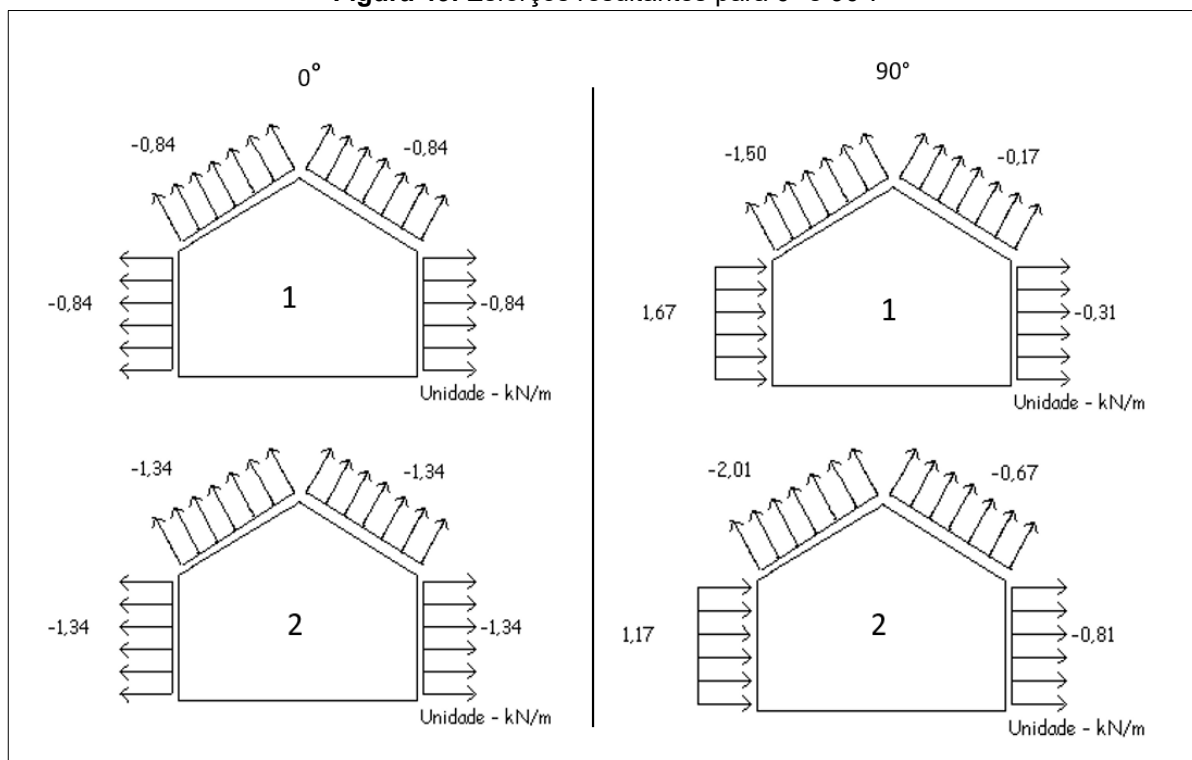
Figura 48. Combinação dos coeficientes de pressão para 0° e 90° .



Fonte: VisualVentos adaptado (2019).

- Esforços resultantes para 0° e 90°

Figura 49. Esforços resultantes para 0° e 90° .



Fonte: VisualVentos adaptado (2019).

2.1.6 Seleção preliminar dos elementos

Neste tópico, será descrito como foi pré-selecionado os elementos que constituem o edifício garagem.

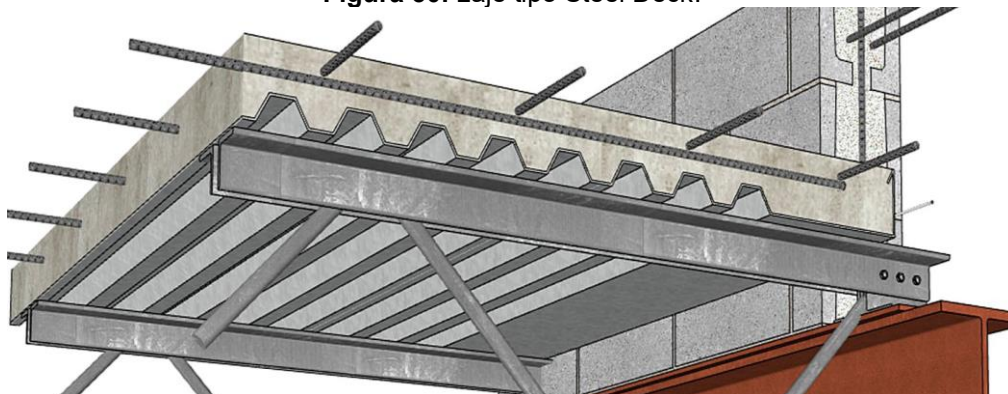
2.1.6.1 Perfis estruturais

Nesta etapa foi realizada o pré-dimensionamento dos principais elementos que constituem a estrutura de acordo com a teoria exposta no item 1.3.7.2. Dessa maneira, fez-se a seleção das dimensões das peças para lançá-las no software de cálculo estrutural Cype 3D.

2.1.6.2 Laje

Para esse projeto, utilizou-se a laje fabricada pela empresa Metform do tipo Steel Deck, Figura 50, com aço especial galvanizado ASTM A 613 Grau 40, podendo ser encontrada nas espessuras de 0,80 mm, 0,90 mm e 1,25 mm, com um comprimento de até 12 metros, conforme o projeto. Os valores das cargas a serem utilizadas no cálculo estrutural foram obtidas no catálogo do fabricante.

Figura 50. Laje tipo Steel Deck.



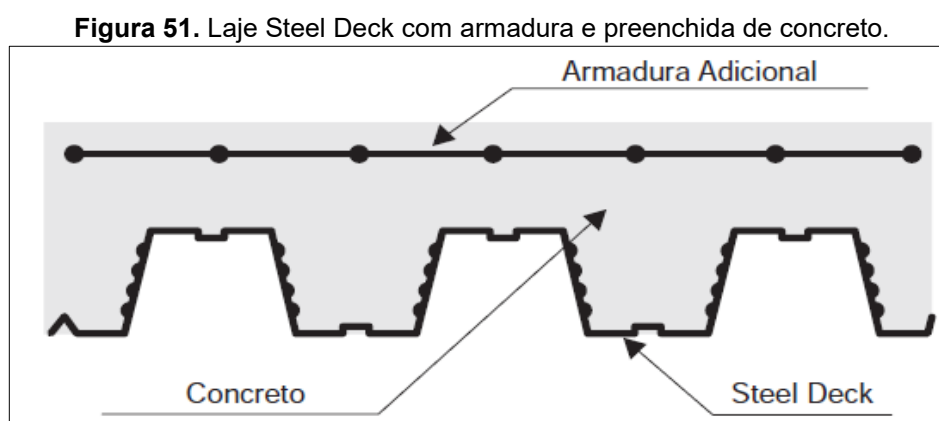
Fonte: Aço Plano (2017).

Dessa forma, o critério para a escolha desse tipo de laje refere-se aos seguintes motivos:

- Alta qualidade de acabamento;
- Dispensa escoramento e reduz gastos com desperdício de material;
- Facilidade de instalação e rapidez construtiva;

- Funciona como plataforma de serviço e proteção aos operários que trabalha nos andares inferiores;
- Facilidade para passagem de dutos das diversas instalações;

Neste tipo de laje, é preciso preenche-la com uma camada de concreto convencional junto a uma armadura, Figura 51. A Tabela 7 mostra as características das lajes utilizadas no trabalho.



Fonte: Vão Livre (2019).

Tabela 7. Característica das lajes.

Steel Deck MF-50	Altura total (mm)	Espessura (mm)	Peso próprio (kN/m ²)	M. Inércia (10 ⁶ mm ⁴ /m)	Vão máximo (mm)	Carga sobrepota máxima (kN/m ²)
Galpão	110	1,25	2,13	8,19	2200	11,42
Rampa + Patamar	110	0,80	2,08	6,89	2000	8,10
Escada	100	0,80	1,85	5,25	2000	7,14
Patamar da escada	100	0,95	1,86	5,61	2500	4,94

Fonte: Autoria própria (2019).

2.1.6.3 Telha

A telha utilizada neste projeto é de aço do tipo trapezoidal, Figura 52, com revestimento em zinco (galvanizada) que segue os padrões da ABNT fabricado pela empresa Gerdau. Está disponível nas lojas em comprimentos de 2 m a 6,5 metros, com largura padrão de 1 metro. A escolha da telha ideal a ser utilizada depende do projeto da cobertura para assim definir suas características. Com o projeto da

cobertura definido, foi selecionada a telha a ser utilizada no galpão do edifício garagem, como mostrado na Tabela 8.

Figura 52. Telha em aço galvanizado tipo trapezoidal.



Fonte: Galvisteel (2019).

Tabela 8. Característica da telha selecionada.

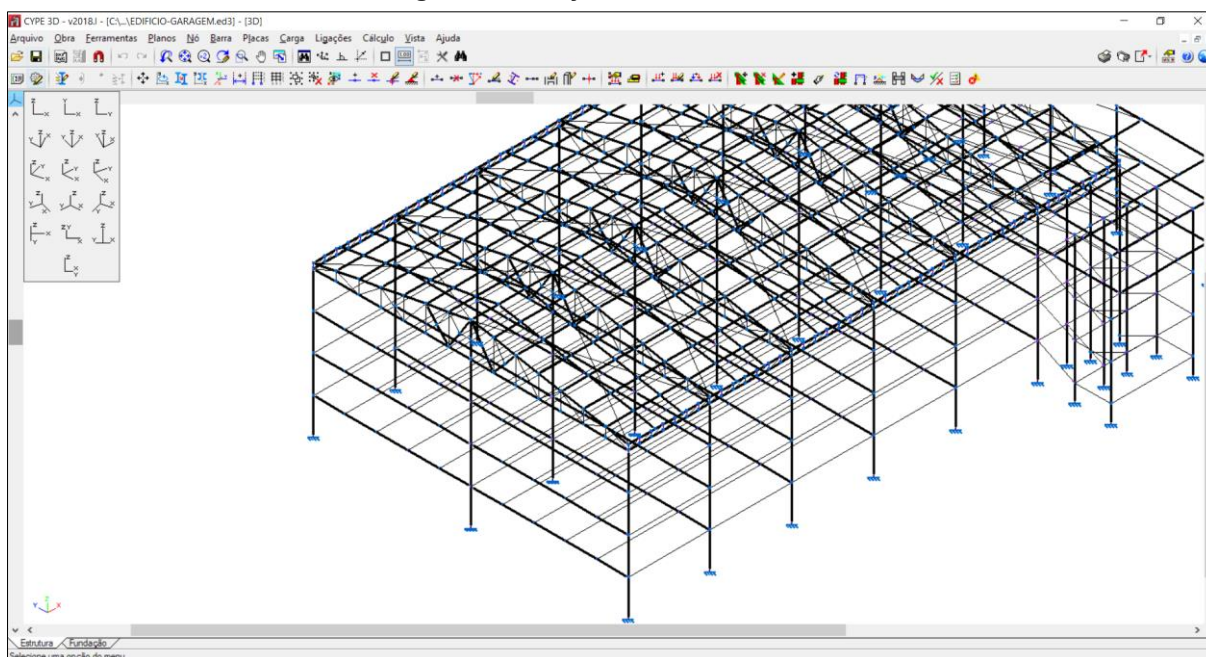
Telhas trapezoidal Gerdau galvanizada	
Espessura	0,43 mm
Comprimento	4 m
Peso	4,66 kg/m ²
Distância entre apoios	1500 mm
Número de apoios	3

Fonte: Aatoria própria (2019).

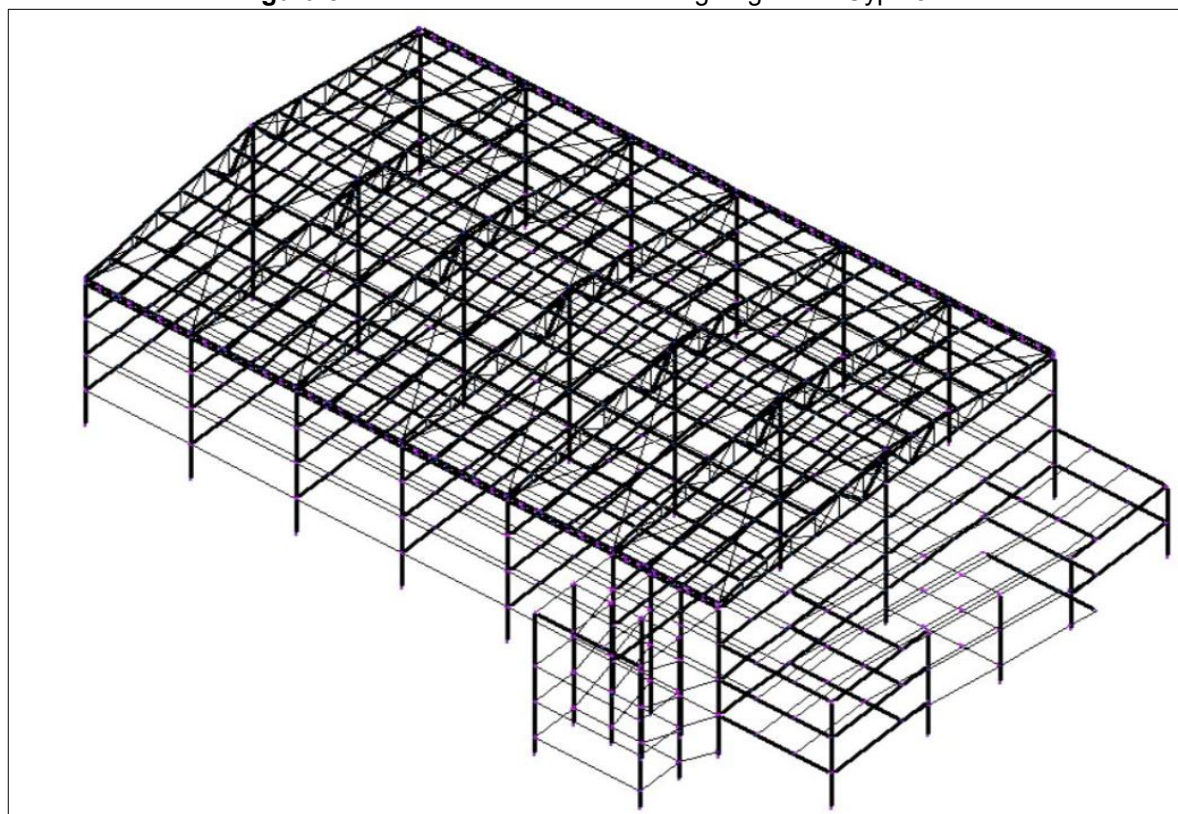
2.1.7 Simulação dos elementos no software de cálculo estrutural

De acordo com o Instituto aço Brasil, atualmente são usados programas computacionais para modelar a estrutura, fornecendo como dados a sua geometria, carregamentos, seções pré-dimensionadas e condições de apoio, com o intuito de obter esforços e deslocamentos para verificar a conformidade das seções propostas dos elementos.

Com os fatores definidos nos itens 2.1.1 a 2.1.6, realizou-se o lançamento de toda a estrutura no software bastante utilizado por profissionais da área, o CYPE 3D, Figuras 53 e 54, de forma a obter os melhores perfis estruturais para o projeto. Foram utilizados no programa os perfis disponíveis no catálogo do fabricante Gerdau.

Figura 53. Lançamento da estrutura.

Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 54. Vista isométrica do edifício garagem no Cype 3D.

Fonte: Autoria própria (2019).

2.1.7.1 Combinações de carga consideradas no cálculo

Para as distintas situações de projeto, o software realizou o cálculo das combinações para todas as ações atuantes na estrutura usando as equações 15 e 16:

- Com coeficientes de combinação (15)

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_p P_k + \gamma_{Q1} \psi_{p1} Q_{k1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Qi} \psi_{ai} Q_{ki}$$

- Sem coeficientes de combinação (16)

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_p P_k + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Qi} Q_{ki}$$

A Tabela 9 mostra os valores dos coeficientes utilizados para cada situação de projeto conforme os estados limites últimos (E.L.U) previsto na NBR 8800.

Tabela 9. Coeficientes de combinação.

	Coeficientes parciais de segurança		Coeficientes de combinação	
	Favorável	Desfavorável	Principal (γ_p)	Acompanhamento (γ_a)
Permanente (G)	1,0	1,5	-	-
Sobrecarga (Q)	0	1.5	1.000	0.800
Vento (Q)	0	1.4	1.000	0.600

Fonte: Autoria própria (2019).

2.1.8 Detalhamento

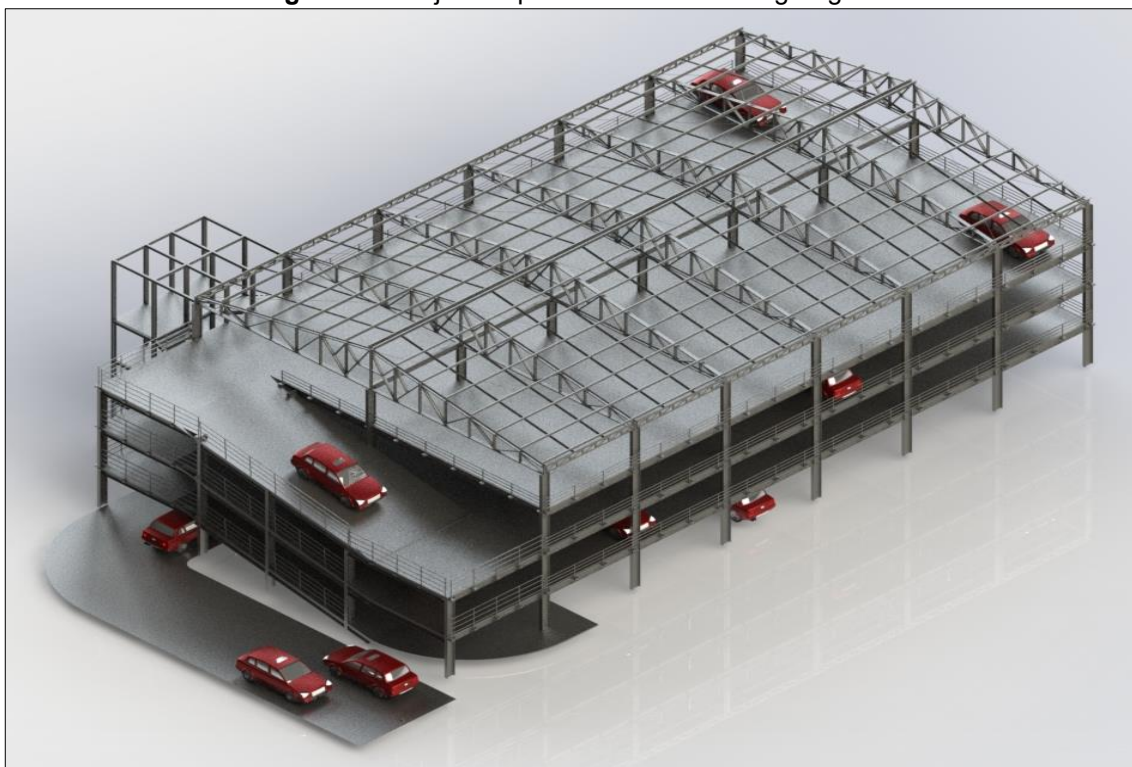
Após o dimensionamento no software de cálculo estrutural, elaborou-se um projeto contendo os detalhes construtivos da estrutura, como planta baixa, vistas do edifício garagem, detalhes das ligações, que estão nos apêndices deste trabalho.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse tópico, será apresentado o resultado do dimensionamento dos componentes metálicos que compõe o edifício garagem. A Figura 55 mostra o projeto arquitetônico do edifício garagem.

Os resultados apresentados estão relacionados ao relatório com memorial de cálculo disponibilizado pelo software Cype 3D.

Figura 55. Projeto arquitetônico do edifício garagem.



Fonte: Autoria própria no SolidWorks (2019).

3.1 EDIFÍCIO GARAGEM

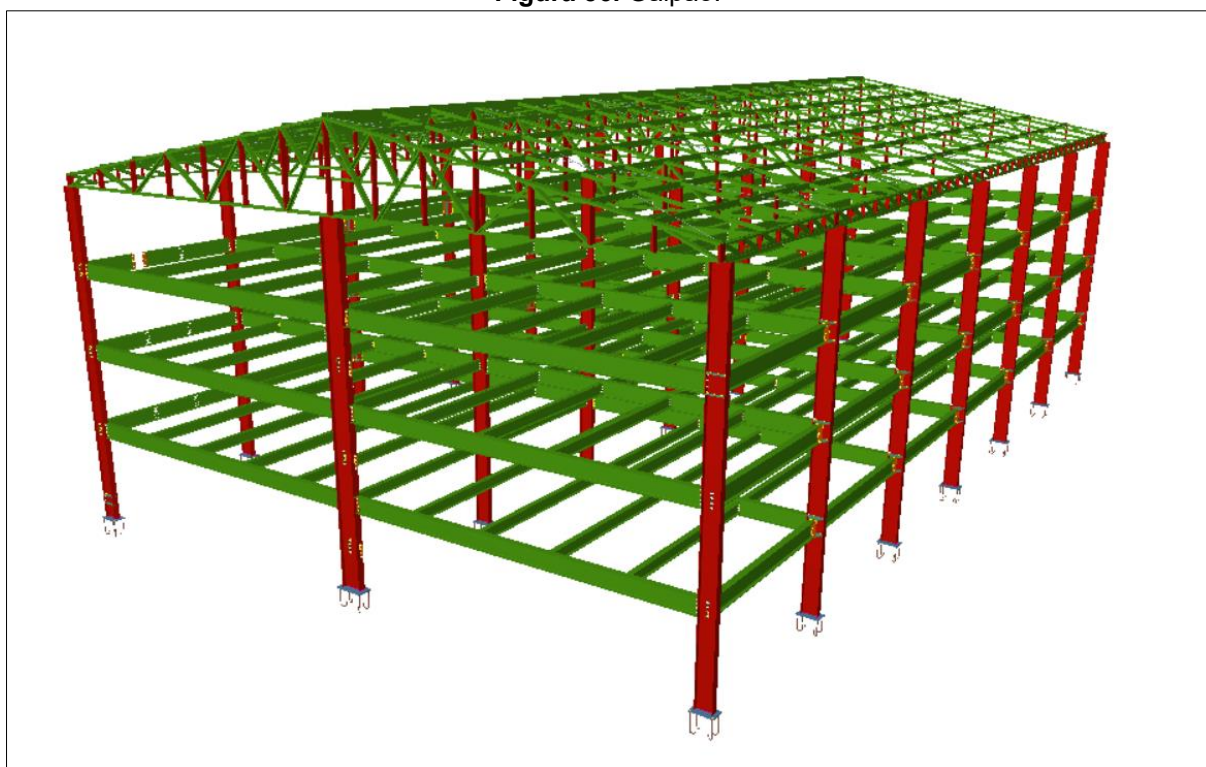
Na Figura 56, observa-se o galpão do edifício garagem contendo todos seus componentes estruturais. Em todos os pilares utilizou-se os perfis W 460 x 82 que estão engastados nas fundações. Para as vigas principais, que estão localizadas no mesmo plano dos pórticos e nas vigas de ligação de um pórtico a outro, o perfil W 460 x 74 foi selecionado. Já para as vigas secundárias (internas) que recebem a maior parte carga da laje e dos veículos, utilizou-se o perfil W 310 x 38.7. Lembrando que as ligações vigas-vigas e vigas-pilares são todas parafusadas. Os componentes da cobertura serão descritos adiante.

Ademais, vale ressaltar que, após o dimensionamento da estrutura colocando

os perfis pré-dimensionados, o programa realiza a verificação de cada barra individualmente e o perfil que não estiver apto aos carregamentos solicitados precisa ser substituído por outro, da mesma série ou não. Para facilitar no dimensionamento, o Cype 3D mostra os perfis somente da mesma série que passariam no cálculo. Dessa forma, o projetista seleciona todos os perfis adequados para o edifício com base nesse tipo de verificação.

É preciso seguir um padrão para a estrutura, ou seja, evitar utilizar uma grande variedade de seções de perfis, como forma de não comprometer a parte estética do projeto arquitetônico, que também tem sua importância. Dessa forma, para deixar o edifício garagem padronizado, utilizou-se uma única seção para pilares, outra para vigas principais, outra para as vigas secundárias e assim por diante.

Figura 56. Galpão.

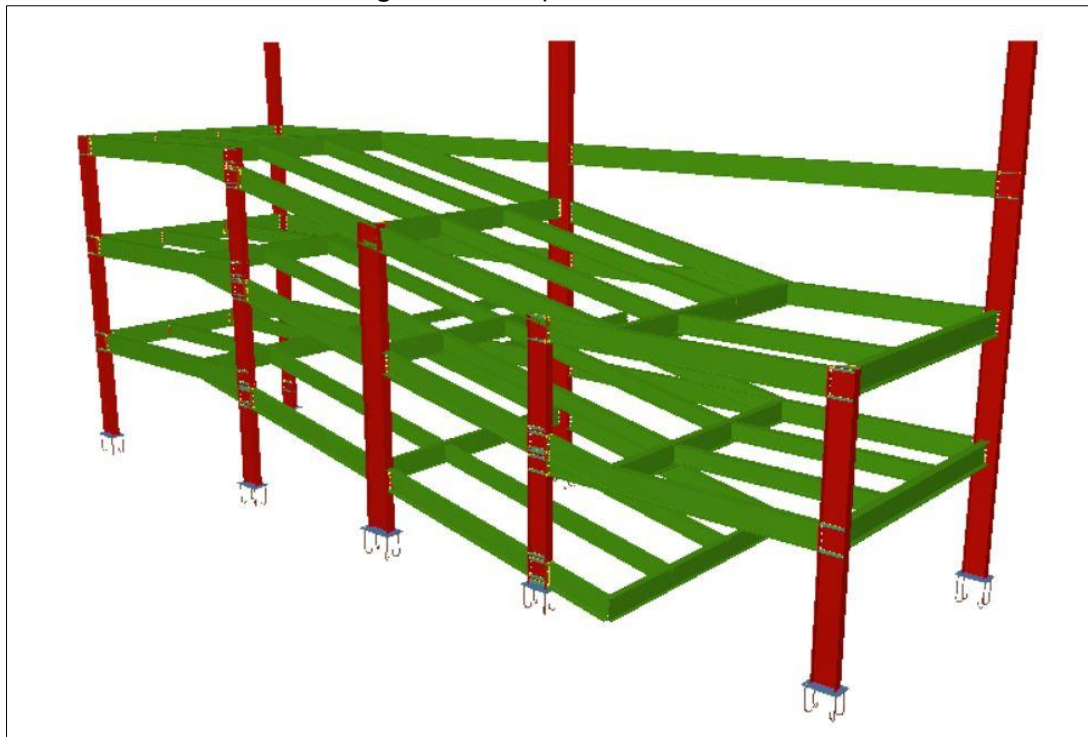


Fonte: Autoria própria (2019).

Os componentes estruturais da rampa de acesso para os veículos são mostrados na Figura 57. É possível observar na imagem que os pilares do primeiro pórtico do galpão são os mesmos que sustentam a rampa, recebendo, portanto, os carregamentos atuantes nas duas estruturas. Após a análise no Cype 3D, selecionou-se as peças a ser utilizadas. Os pilares e vigas principais dos patamares são do tipo W 460 x 82, com vigas secundárias do tipo W 360 x 72. Para todas as vigas da rampa

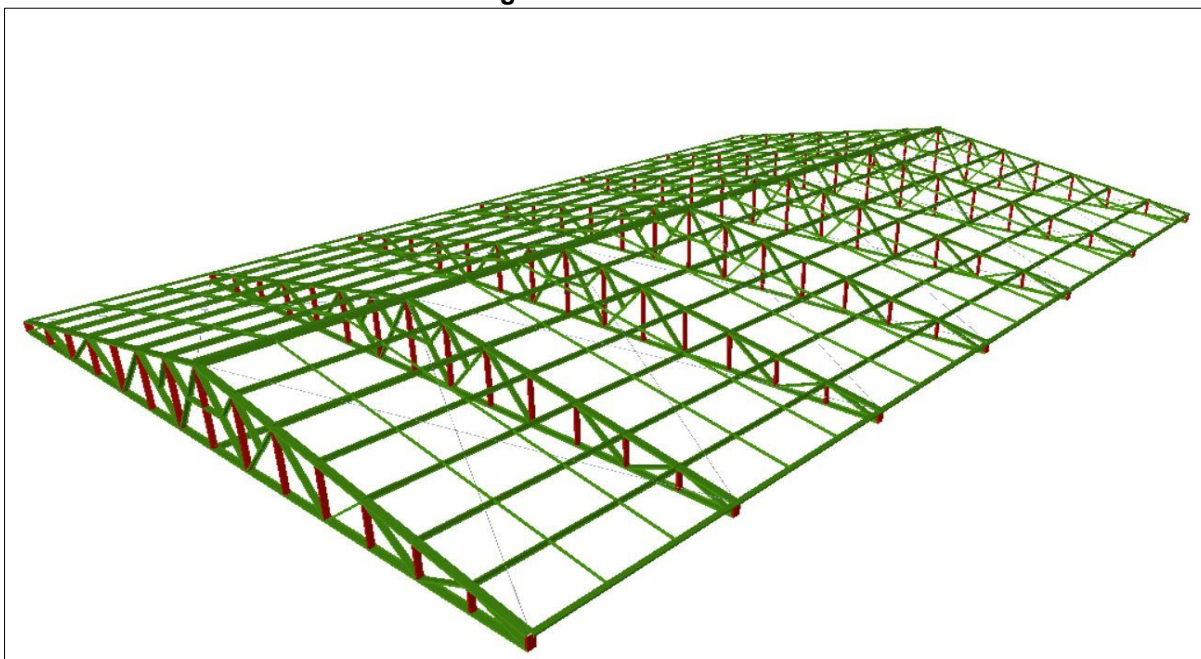
de acesso, foi preciso selecionar um perfil mais robusto se comparado as vigas e pilares dos patamares, sendo o perfil W 460 x 89 utilizado. Os pilares centrais da rampa são os componentes que sofreram os maiores esforços, passando no cálculo estrutural apenas com o perfil W 610 x 125.

Figura 57. Rampa de acesso aos veículos.



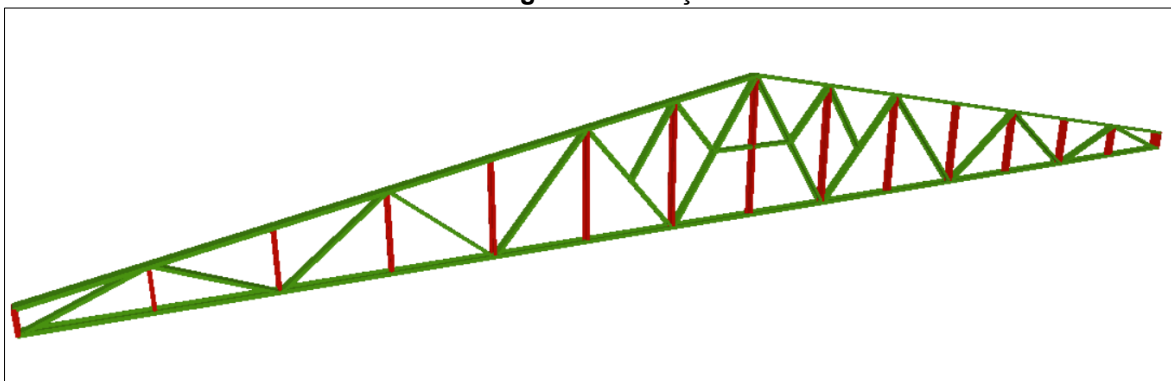
Fonte: Autoria própria (2019).

Com relação a cobertura do edifício, a Figura 58 mostra as peças necessárias para suportar os carregamentos atuantes, todas ligadas por cordões de solda. A telha do tipo trapezoidal que foi selecionada previamente, está apoiada sobre as terças de cobertura, para os quais foram selecionados perfis laminados do tipo “U” de 6 polegadas. Após a simulação, verificou-se uma falha devido ao alto valor do índice de esbeltez para peças das terças, e por isso não passando na análise estrutural. Dessa forma, houve a necessidade de colocar tirantes para diminuir o limite de esbeltez. Assim, usou-se duas peças de cantoneiras entre dois pórticos, no qual foi aprovado apenas os perfis a partir do tipo L 100 x 65 x 7, dispostos perpendicularmente às terças com distanciamento entre si de 1,85 m. Para da estabilidade à estrutura da cobertura, os contraventamentos em diagonal com diâmetro de 14 milímetros foi selecionado.

Figura 58. Cobertura.

Fonte: Autoria própria (2019).

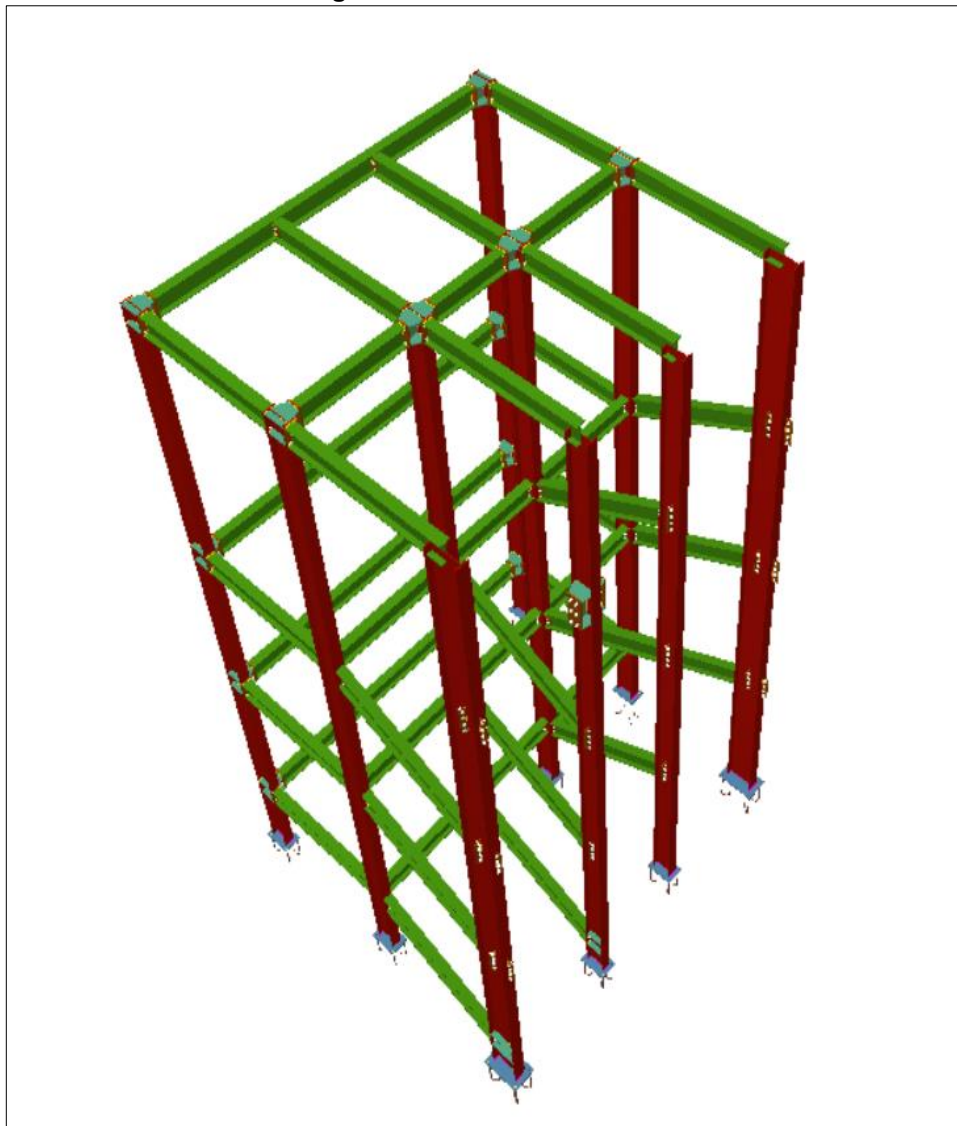
Nas treliças, Figura 59, utilizou-se para os banzos superiores e inferiores os perfis laminados “U” de 8 polegadas. Com relação aos montantes diagonais, usou-se perfis laminados “U” de 6 polegadas com o lado da alma contida e perpendicular as abas dos banzos, assim os perfis dos montantes ficam dentro dos perfis maiores (banzos). Após a simulação, verificou-se uma falha devido ao alto valor de esbeltez para as maiores peças dos montantes, que estariam sofrendo esforços de compressão, não passando na análise estrutural. Assim, foi preciso colocar outras peças “travando” os maiores montantes, como mostra a Figura 59, reduzindo assim o limite de esbeltez para que sejam aprovadas nos cálculos. Todas as ligações estão unidas por cordões de solda.

Figura 59. Treliza.

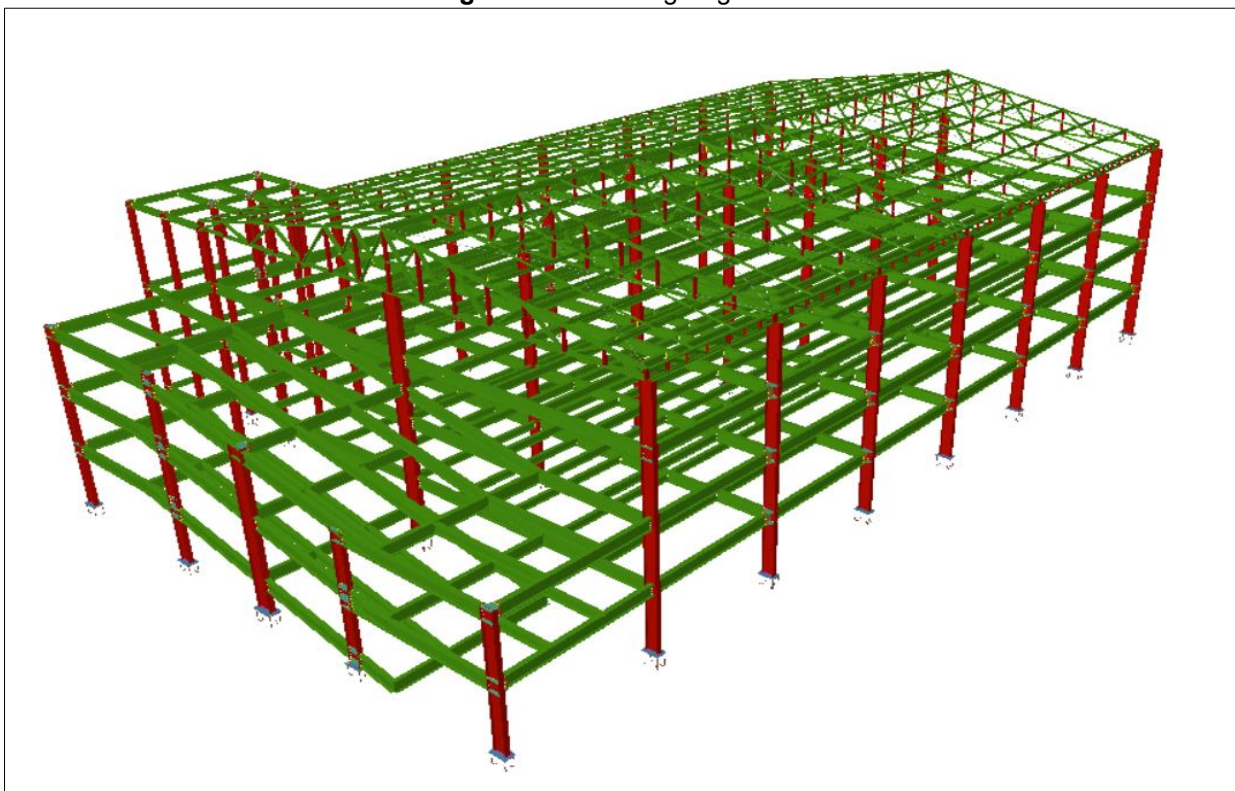
Fonte: Autoria própria (2019).

A estrutura de acesso aos pavimentos é composta por vigas e pilares, todos parafusados, de acordo com a Figura 60. Para os carregamentos solicitados, os pilares com resistência aprovada no Cype 3D são do tipo W 310 x 52. Já para as vigas dos patamares, escada e superiores, selecionou-se o perfil W 250 x 44.8.

Figura 60. Escada de acesso.



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 61. Edifício garagem.

Fonte: Autoria própria (2019).

3.2 ESCOLHA DOS PERFIS

A Tabela 10 mostra o tipo de material aplicado em toda estrutura com suas propriedades.

Tabela 10. Propriedades do material.

Material		Materiais					
Tipo	Designação	E (MPa)	n	G (MPa)	f_y (MPa)	α_t (m/m°C)	g (kN/m³)
Aço laminado	A-36 250Mpa	200000.00	0.300	77000.00	250.00	0.000012	77.01

Notação:

E: Módulo de elasticidade
 n: Módulo de Poisson
 G: Módulo de corte
 f_y : Limite elástico
 α_t : Coeficiente de dilatação
 g: Peso específico

Fonte: Autoria própria (2019).

Após o pré-dimensionamento dos perfis estruturais, os mesmos foram utilizados no Cype 3D para simulação. A Tabela 11 descreve resumidamente todos os perfis selecionados para estrutura com a quantidade, peso, volume e área de superfície dos materiais.

Tabela 11. Lista dos perfis utilizados no edifício garagem.

Série	Perfil	Comprimento (m)	Volume (m³)	Peso (kg)	Superfície (m²)
I	W 150 x 18	33.600	0.079	617.20	23.601
	W 250 x 44.8	113.341	0.653	5124.83	125.673
	W 310 x 38.7	907.200	4.509	35393.95	1150.692
	W 310 x 52	80.500	0.539	4233.90	103.587
	W 360 x 72	121.485	1.109	8706.91	182.082
	W 460 X 68	24.000	0.210	1650.38	36.379
	W 460 x 74	653.100	6.198	48653.66	1081.534
	W 460 x 82	316.500	3.314	26012.98	526.719
	W 460 x 89	76.485	0.873	6850.67	127.960
	W 610 x 125	16.250	0.260	2042.28	34.388
	Total	2342.462	17.743	139286.76	3392,615
U	U 4"	98.555	0.110	861.85	35.086
	U 6"	920.630	1.610	12639.93	454.975
	U 8"	308.482	0.754	5918.36	193.357
	U 8", Caixa dupla com chapas	33.600	0.218	1711.27	26.826
	Total	1361.268	2.692	21131.42	710.244
L	Cantoneira L 100 x 65 x 7	262.427	0.294	2307.26	86.601
R	Tirante R 14	294.841	0.045	356.29	12.968
	TOTAL	4260.998	20.775	163081.73	4202.428

Fonte: Autoria própria (2019).

3.3 SOLDAS

As soldas selecionadas no software para esse projeto são eletrodos das séries E70XX. Com relação ao processo de soldagem, o tipo SMAW (Arco elétrico com eletrodo revestido), pode ser usado, na qual cumprem-se as condições de compatibilidade entre materiais exigidas pelo item 6.2.4 NBR 8800. Nos processos de fabricação e montagem da estrutura deverão ser cumpridos os requisitos indicados pela norma AWS. Para as verificações de resistência dos cordões de solda, utiliza-se o item 6.2.5 da NBR 8800.

A Tabela 12 descreve as características das soldas prevista para o projeto disponibilizado no memorial de cálculo do Cype 3D.

Tabela 12. Quantidade de solda.

Classe de resistência	Tipo	Lado (mm)	Comprimento de cordões (mm)
	De filete	5	769561
		6	10545
		7	17664
		8	142179
		9	61949
		10	37865

E70XX	De topo em bisel simples com região não chanfrada ampla	6	603
		7	201
		9	804
	De filete	5	4336
		7	5331
	De filete	5	14610
		8	741
		11	720
	De topo em bisel simples com região não chanfrada ampla	8	6635
		12	679
	De filete	5	19392
		6	2164
		9	18245
		11	1814

Fonte: Autoria própria (2019).

3.4 PARAFUSOS, CHAPAS E PLACAS DE ANCORAGEM

As Tabelas 13,14 e 15 descrevem todos os tipos de parafusos, chapas e placas de base necessárias para as ligações da estrutura.

Tabela 13. Quantidade de parafusos.

Elementos para aparafusar			
Tipo	Material	Quantidade	Descrição
Parafusos	ASTM A325M	1296	M16x45, Tipo 1, ASTM A325MT
		184	M16x50, Tipo 1, ASTM A325MT
		126	M16x60, Tipo 1, ASTM A325MT
		486	M16x65, Tipo 1, ASTM A325M
		304	M20x55, Tipo 1, ASTM A325MT
		60	M20x60, Tipo 1, ASTM A325MT
		382	M20x70, Tipo 1, ASTM A325MT
		36	M20x75, Tipo 1, ASTM A325MT
Porcas	Classe 8S	2092	M16, ASTM A563M
		782	M20, ASTM A563M
Anilhas	Tipo 1	4184	M16, ASTM F436M
		1564	M20, ASTM F436M

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 14. Quantidade de chapas.

Chapas				
Material	Tipo	Quantidade	Dimensões (mm)	Peso (kg)
A-36 250Mpa	Enrijecedores	28	(57+176+57x115+80x14)	153.87
		24	290x75x14	57.49
		18	428x90x15	81.64
		122	428x255x15 (104+220+104x164+91x15)	1322.16
		4	290x195x15 (35+220+35x115+80x15)	24.77
		10	428x260x18 (104+220+104x169+91x18)	132.34
		70	428x90x18	381.00
		2	572x330x20 (196+180+196x221+109x20)	45.70
		22	98x245x8	33.30
		14	195x239x8	40.98

	Chapas	26	90x220x8	32.33
		10	90x285x8	16.11
		324	90x270x8	494.44
		2	195x427x9	11.78
		61	255x427x9	469.81
		10	107x410x10	34.72
		76	100x400x10	238.64
		5	260x426x10	43.47
		5	100x420x10	16.48
		1	330x423x10	10.97
		1	170x320x14	5.98
		16	170x290x14	86.69
		28	175x300x14	161.55
		126	220x490x15	1599.37
		1	170x320x15	6.41
		10	195x510x18	140.52
		27	195x535x18	398.01
		17	195x490x18	229.52
		2	180x500x18	25.43
		10	220x500x18	155.43
		Total		6450.91

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 15. Quantidade de placas de base.

Placas de base				
Material	Elementos	Quantidade	Dimensões (mm)	Peso (kg)
A-36 250Mpa	Placa base	8	300x450x18	152.60
		24	400x650x22	1077.65
		2	450x850x30	180.16
	Total			1410.41
ISO 898.C4.6 (liso)	Parafusos de ancoragem	4	Ø 16 - L = 504 + 183	4.34
		16	Ø 16 - L = 354 + 183	13.56
		12	Ø 16 - L = 554 + 183	13.95
		8	Ø 22 - L = 464 + 251	17.08
		44	Ø 22 - L = 364 + 251	80.79
		44	Ø 22 - L = 414 + 251	87.36
		8	Ø 27 - L = 427 + 308	26.44
	Total			243.52

Fonte: Autoria própria (2019).

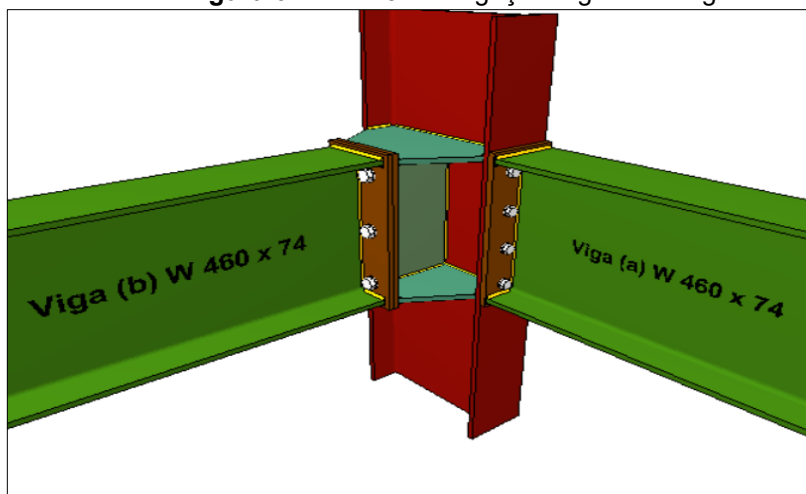
3.5 LIGAÇÕES

A seguir serão detalhadas algumas das ligações representativas do projeto, mostrando as características dos componentes de cada união em forma de tabelas disponibilizadas pelo memorial de cálculo gerado no Cype 3D. As vistas com todos os detalhes dessas ligações encontram-se nos apêndices. Devido ao grande número de tabelas por ligação gerada pelo software e por existirem várias uniões na estrutura, optou-se em detalhar apenas uma ligação entre um pilar e duas vigas, entre duas vigas com sessões distintas e entre um pilar e a fundação.

3.5.1 Ligação Viga-Pilar-Viga

1) Detalhes

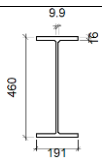
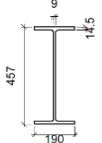
Figura 62. Vista 3D da ligação Viga-Pilar-Viga.



Fonte: Autoria própria (2019).

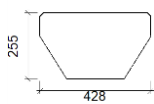
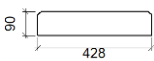
2) Descrição dos componentes da ligação

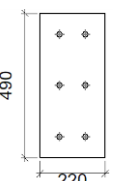
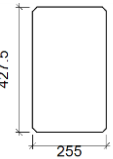
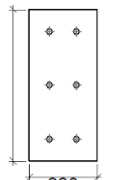
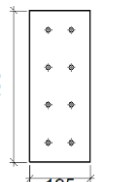
Tabela 16. Descrição dos perfis (viga-pilar-viga).

Descrição	Esquema	Geometria					
		Altura (mm)	Largura da aba (mm)	Espess. da mesa (mm)	Espess. da alma (mm)	f_y (MPa)	f_u (MPa)
Pilar W 460 x 82		460	191	16	9.9	250.0	400.0
Viga W 460 x 74		457	190	14.5	9	250.0	400.0

Fonte: Autoria própria (2019).

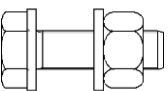
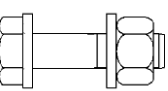
Tabela 17. Descrição dos elementos complementares (viga-pilar-viga).

Peça	Geometria				Furos		Resistencia	
	Esquema	Largu. (mm)	Altu. (mm)	Espess. (mm)	Quant.	Diâmetro (mm)	f_y (MPa)	f_u (MPa)
A-36 250Mpa Enrijecedor		428	255	15	-	-	250.0	400.0
A-36 250Mpa Enrijecedor		428	90	15	-	-	250.0	400.0

A-36 2 50Mpa Chapa de apoio da Viga (b) W 460 x 74		220	490	15	6	21.5	250.0	400.0
A-36 250Mpa Chapa vertical da Viga (b) W 460 x 74		255	427.5	9	-	-	250.0	400.0
A-36 250Mpa Chapa frontal: Viga (b) W 460 x 74		220	490	15	6	21.5	250.0	400.0
A-36 250Mpa Chapa frontal: Viga (a) W 460 x 74		195	490	18	8	17.5	250.0	400.0

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 18. Descrição dos parafusos (viga-pilar-viga).

Parafusos						
Descrição	Geometria				Aço	
	Esquema	Diâmetro	Comprimento (mm)	Classe	f_y (MPa)	f_u (MPa)
M20x70, Tipo 1, ASTM A325MT M20, ASTM A563M, 8S 2 M20, ASTM F436M, Tipo 1		M20	70	ASTM A325M	635.0	830.0
M16x65, Tipo 1, ASTM A325M M16, ASTM A563M, 8S 2 M16, ASTM F436M, Tipo 1		M16	65	ASTM A325M	635.0	830.0

Fonte: Autoria própria (2019).

a) Verificação de resistência dos perfis

- Pilar W 460 x 82

Tabela 19. Verificação de resistência do pilar (viga-pilar-viga).

Componente	Verificação	Desfavorável	Resistente	Aprov. (%)
Painel	Esbeltez	--	--	61.760
	Cortante (kN)	203.80	617.63	33.00
Rigidificador superior	Tensão de Von Mises (N/mm ²)	77.53	227.27	34.12
Rigidificador inferior	Tensão de Von Mises (N/mm ²)	74.14	227.27	32.62
Rigidificador superior	Tensão de Von Mises (N/mm ²)	76.19	227.27	33.52
Rigidificador inferior	Tensão de Von Mises (N/mm ²)	81.41	227.27	35.82
Chapa frontal [Viga (b) W 460 x 74]	Interação flexão - esforço transversal	--	--	0.00
	Deformação admissível (mRad)	--	2	0.00
Chapa vertical [Viga (b) W 460 x 74]	Cortante(kN)	31.67	276.14	11.47
Aba	Rasgamento (N/mm ²)	63.93	227.27	28.13
	Cortante (N/mm ²)	45.71	227.27	20.11
Aba Viga (a) W 460	Tração por flexão(kN)	136.55	182.78	74.71
	Tração (kN)	33.31	264.81	12.58
Alma Viga (a) W 460	Tração (kN)	92.53	174.59	53.00
Enrijecedores Viga (b) W 460	Tração (kN)	5.62	323.86	1.74
Chapa de apoio Viga (b) W 460	Tração por flexão (kN)	21.39	254.38	8.41
Chapa vertical Viga (b) W 460	Tração (kN)	10.15	188.14	5.39

Fonte: Autoria própria (2019).

- Viga (a) W 460 x 74

Tabela 20. Verificação de resistência da viga (a) (viga-pilar-viga).

Componente	Verificação	Desfavorável	Resistente	Aprov. (%)
Chapa frontal	Tração por flexão (kN)	136.55	193.05	70.73
Aba	Compressão (kN)	247.93	626.13	39.60
	Tração (kN)	36.34	259.03	14.03
Alma	Tração (kN)	92.53	193.86	47.73

Fonte: Autoria própria (2019).

- Viga (b) W 460 x 74

Tabela 21. Verificação de resistência da viga (b) (viga-pilar-viga).

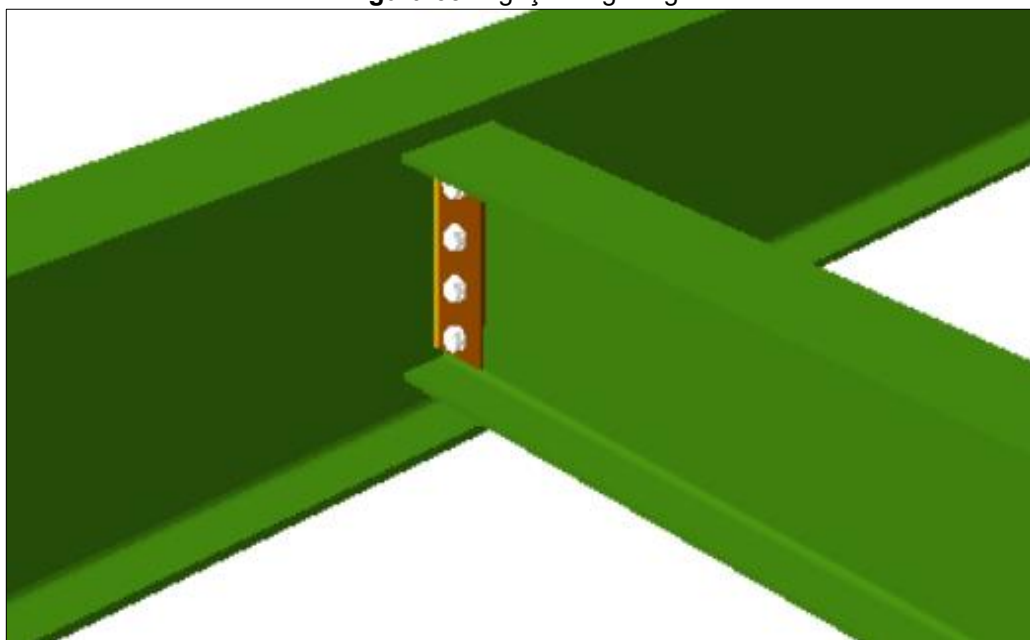
Componente	Verificação	Desfavorável	Resistente	Aprov. (%)
Chapa frontal	Tração por flexão (kN)	21.39	253.87	8.42
Aba	Compressão (kN)	27.52	427.02	6.45
	Tração (kN)	5.57	313.07	1.78
Alma	Tração (kN)	10.24	189.23	5.41

Fonte: Autoria própria (2019).

3.5.2 Ligação Viga-Viga

a) Detalhes

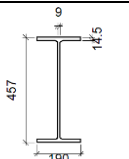
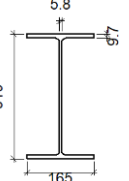
Figura 63. Ligação Viga-Viga.



Fonte: Autoria própria (2019).

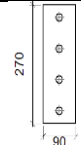
b) Descrição dos componentes da ligação

Tabela 22. Descrição dos componentes (viga-viga).

Descrição	Geometria					Resistencia	
	Esquema	Alt. (mm)	Largur. aba (mm)	Espess.da mesa (mm)	Espess. alma (mm)	f_y (MPa)	f_u (MPa)
A-36 250Mpa Viga W 460 x 74		457	190	14.5	9	250.0	400.0
A-36 250Mpa Viga W 310 x 38.7		310	165	9.7	5.8	250.0	400.0

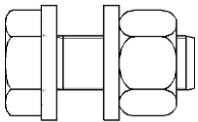
Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 23. Elementos complementares (viga-viga).

Descrição	Geometria				Furos		Resistência	
	Esquema	Larg. (mm)	Alt. (mm)	Espess. (mm)	Quant.	Diâmetro (mm)	f_y (MPa)	f_u (MPa)
A-36 250Mpa Chapa lateral: Viga secundária W 310 x 38.7		90	270	8	4	17.5	250.0	400.0

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 24. Parafuso para ligação (viga-viga).

Parafusos						
Descrição	Geometria				Aço	
	Esquema	Diâmetro	Compr. (mm)	Classe	f_y (MPa)	f_u (MPa)
M16x45, Tipo 1, ASTM A325MT M16, ASTM A563M, 8S 2 M16, ASTM F436M, Tipo 1		M16	45	ASTM A325M	635.0	830.0

Fonte: Autoria própria (2019).

c) Verificação**1) Viga principal****Tabela 25.** Verificação de resistência (viga-viga).

Componente	Verificação	Desfavorável	Resistente	Aprov. (%)
Alma	Punção (kN)	0.21	144.48	0.15
	Flexão por força perpendicular (kN)	0.21	130.62	0.16

Fonte: Autoria própria (2019).

2) Viga secundária W 310 x 38.7**Tabela 26.** Verificação de resistência (viga-viga).

Componente	Verificação	Desfavorável	Resistente	Aprov. (%)
Chapa lateral	Interação flexão - esforço transversal	--	--	0.06
	Tensões combinadas	--	--	18.33
	Flambagem local (N/mm ²)	-20.83	209.69	9.94
	Esmagamento (kN)	14.16	65.26	21.69
	Rasgamento (kN)	45.00	209.95	21.43
Alma	Esmagamento (kN)	14.16	60.77	23.30
	Rasgamento (kN)	45.00	191.96	23.44

Fonte: Autoria própria (2019).

d) Quantidade

Tabela 27. Solda, chapas e parafusos (viga-viga).

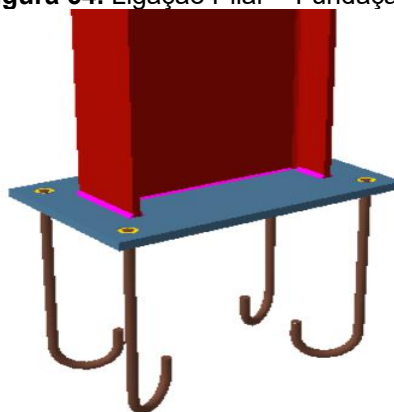
Material	Quantidade	Descrição
Eletrodo rev. E70XX	De filete 5 mm	540 mm comprimento
Chapas A-36 250Mpa	1	90x270x8 Dimensões
Parafusos (ASTM A325M)	4	M16x45, Tipo 1, ASTM A325MT
Porcas (Classe 8S)	4	M16, ASTM A563M
Anilhas (Tipo 1)	8	M16, ASTM F436M

Fonte: Autoria própria (2019).

3.5.3 Ligação Pilar - Fundação

a) Detalhes

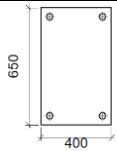
Figura 64. Ligação Pilar – Fundação.



Fonte: Autoria própria (2019).

b) Descrição dos componentes da ligação

Tabela 28. Descrição dos componentes (pilar- fundação).

Placa de base A-36 250MPa	Lar. (mm)	Alt. (mm)	Esp. (mm)	Quant.	Diâmetro ext. (mm)	Diâmetro int. (mm)	f_y (MPa)	f_u (MPa)
	400	650	22	4	38	24	250.0	400.0

Fonte: Autoria própria (2019).

c) Verificação de resistência

1) Pilar W 460 x 82

Tabela 29. Característica da solda (pilar- fundação).

Descrição Solda (SMAW)	Tipo	t (mm)	Comprimento		Perna		
			$l_{w,min}$ (mm)	l_w (mm)	$d_{w,min}$ (mm)	$d_{w,max}$ (mm)	d_w (mm)
Solda da aba superior	De ângulo	16	40	191	6	16	9
Solda da alma	De ângulo	10	40	404	5	10	5
Solda da aba inferior	De ângulo	16	40	191	6	16	9

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 30. Verificação de cordões de soldadura (pilar- fundação).

Descrição	Perna (mm)	t (mm)	l _w (mm)	Metal - base	Cisalhamento Metal da solda			Tensões Metal-base		
				f _y (N/mm²)	Sd (N/mm²)	Rd (N/mm²)	Aprov. (%)	Sd (N/mm²)	Rd (N/mm²)	Aprov (%)
Solda da aba superior	9	16	191	250.0	96.7	215.6	44.88	68.4	136.4	50.17
Solda da alma	5	10	404	250.0	87.7	215.6	40.70	62.0	136.4	45.49
Solda da aba inferior	9	16	191	250.0	112.3	215.6	52.09	79.4	136.4	58.23

Fonte: Autoria própria (2019).

2) Placa de ancoragem

Tabela 31. Verificação de placa de ancoragem (pilar-fundação).

Verificação	Valores	Estado
Distância mínima entre chumbadores: 3 diâmetros	Mínimo: 66 mm Calculado: 301 mm	Passa
Distância mínima chumbador-borda: 2 diâmetros	Mínimo: 44 mm Calculado: 50 mm	Passa
Comprimento mínimo do parafuso: Calcula-se o comprimento de ancoragem necessário por aderência.	Mínimo: 28 cm Calculado: 35 cm	Passa

Verificação	Valores	Estado
Ancoragem chumbador no concreto:		
- Tração:	Máximo: 33.92 kN Calculado: 14.08 kN	Passa
- Cortante:	Máximo: 23.74 kN Calculado: 11.63 kN	Passa
- Tração + Cortante:	Máximo: 33.92 kN Calculado: 30.69 kN	Passa
Tração chumbadores:	Máximo: 82.08 kN Calculado: 14.1 kN	Passa
Tensão de Von Mises nos chumbadores:	Máximo: 216 MPa Calculado: 62.738 MPa	Passa
Esmagamento chumbador na placa: Limite de esforço de corte em um chumbador atuando contra a placa	Máximo: 272.25 kN Calculado: 12.29 kN	Passa
Tensão de Von Mises em seções globais:	Máximo: 250 MPa	
- Direita:	Calculado: 101.08 MPa	Passa
- Esquerda:	Calculado: 110.277 MPa	Passa
- Acima:	Calculado: 147.382 MPa	Passa
- Abaixo:	Calculado: 148.897 MPa	Passa
Flecha global equivalente: Limite da deformabilidade dos balanços	Mínimo: 250	
- Direita:	Calculado: 1479.67	Passa
- Esquerda:	Calculado: 1269.86	Passa
- Acima:	Calculado: 646.755	Passa
- Abaixo:	Calculado: 625.734	Passa
Tensão de Von Mises local: Tensão por tração de chumbadores sobre placas em balanço	Máximo: 250 MPa Calculado: 0 MPa	Passa

Todas as verificações foram cumpridas

Fonte: Autoria própria (2019).

d) Quantidade

Tabela 32. Quantidade de solda (pilar-fundação).

Classe de resistência	Tipo	Lado (mm)	Comprimento de cordões (mm)
E70XX	De topo em bisel simples com região não chanfrada ampla	8	276
		5	808
	De filete	9	760

Fonte: Autoria própria (2019).

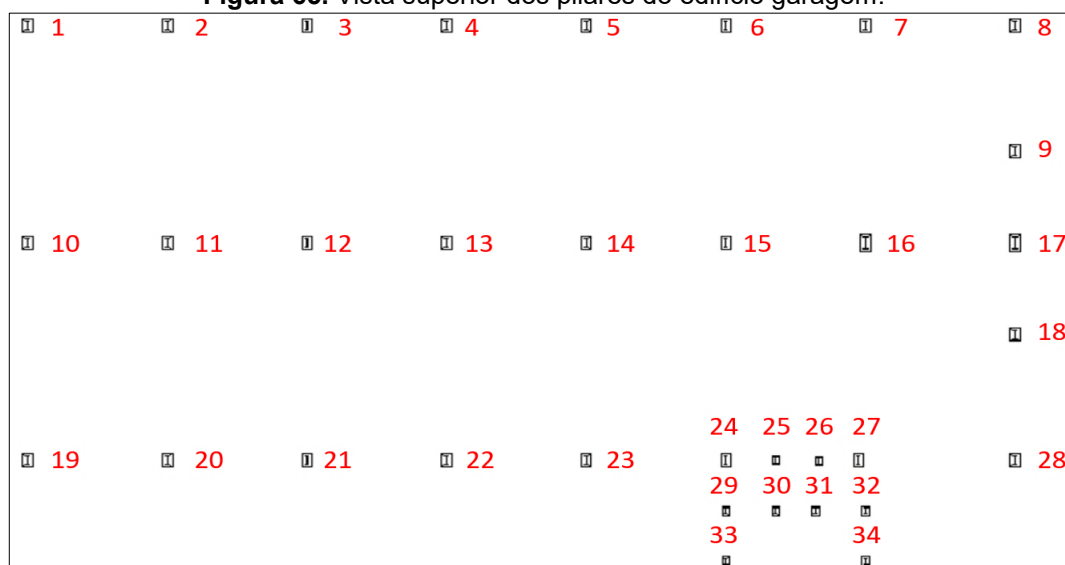
Tabela 33. Quantidade de placas de base (pilar-fundação).

Placas de base				
Material	Elementos	Quantidade	Dimensões (mm)	Peso (kg)
A-36 250Mpa	Placa base	1	400x650x22	44.90
	Total			44.90
ISO 898.C4.6 (liso)	Parafusos de ancoragem	4	Ø 22 - L = 414 + 251	7.94
	Total			7.94

Fonte: Autoria própria (2019).

3.6 REAÇÕES

Na Figura 65 está enumerado todos os pilares do edifício. A Tabela 33 mostra as reações na fundação para cada pilar da estrutura. Esses valores serão consultados para o cálculo da fundação do edifício.

Figura 65. Vista superior dos pilares do edifício garagem.

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 34. Reações nos pilares.

Pilar	Rx (kN)	Ry (kN)	Rz (kN)	Mx (kN.m)	My (kN.m)	Mz (kN.m)
1	0,211	-4,181	41,024	2,770	0,190	0
2	0,033	-5,753	59,612	3,550	0,050	0
3	0,051	-5,655	58,333	3,160	0,060	0
4	0,044	-5,492	58,326	2,520	0,050	0
5	0,031	-5,217	57,771	1,400	0,040	0
6	0,068	-6,375	59,464	1,000	0,070	0
7	-0,039	4,978	40,175	-11,870	-0,020	0
8	-0,555	-0,480	20,426	0,000	-0,440	0
9	-0,338	-0,082	30,542	-1,310	-0,130	0
10	-0,237	-0,018	53,992	0,070	-0,150	0
11	-0,240	0,046	74,125	-0,200	-0,150	0
12	-0,250	0,128	73,079	-0,580	-0,160	0
13	-0,267	0,267	73,290	-1,190	-0,190	0
14	-0,289	0,503	73,110	-2,270	-0,220	0
15	-0,317	-0,846	81,515	-2,220	-0,260	0
16	0,540	-13,933	148,519	-4,850	0,350	0
17	-0,081	0,293	25,941	-0,330	0,130	0
18	-1,213	-0,376	54,021	-0,180	-1,270	0
19	0,585	4,137	41,806	-2,620	0,640	0
20	0,455	5,861	59,476	-3,970	0,530	0
21	0,470	5,957	58,720	-4,360	0,550	0
22	0,463	6,120	58,830	-5,000	0,540	0
23	0,496	6,399	60,364	-6,120	0,570	0
24	0,156	-1,062	43,043	-1,960	0,290	0
25	0,086	-0,509	9,759	-0,370	0,160	0
26	0,064	1,391	11,271	-2,590	0,140	0
27	0,101	4,808	35,169	-9,460	0,250	0
28	-0,319	1,241	24,314	-1,230	-0,090	0
29	0,015	2,443	12,262	-4,070	0,007	0
30	0,016	1,345	14,430	-2,960	0,007	0
31	0,016	-0,632	14,231	-0,630	0,07	0
32	0,017	-0,529	10,880	-1,040	0,007	0
33	0,715	3,276	17,122	-4,200	0,330	0
34	-0,474	-0,135	17,806	-1,190	-0,140	0

Fonte: Autoria própria (2019).

3.7 VAGAS DE ESTACIONAMENTO

Com esse projeto, houve a divisão das vagas para cada pavimento, com a disposição das vagas para número máximo de veículos por lance, que se enquadram dentro das normas propostas pelo código de obras de Teresina. A Tabela 34 mostra a quantidade de vagas por pavimento e o total em todo o edifício garagem.

Tabela 35. Quantidade de vagas no estacionamento do edifício garagem.

Local	Vagas
Térreo	22
1º Pavimento	22
2º Pavimento	22
3º Pavimento	23
Total	89

Fonte: Autoria própria (2019).

Dessa forma, ocorreu um aumento de 240% do número de vagas se comparado ao atual estacionamento da instituição que possui 37 vagas. No apêndice B está a planta baixa do pavimento térreo e do pavimento tipo.

4 CONCLUSÃO

Com esse projeto finalizado obteve-se o dimensionamento de um edifício garagem para o Instituto Federal do Piauí, Campus Teresina Central, no qual atende perfeitamente aos objetivos propostos.

Na concepção do edifício garagem, foi utilizado todo o espaço disponível do atual estacionamento, de forma que se gerou o melhor arranjo estrutural para esse projeto. A opção pelo aço deu-se ao uso de estruturas pré-moldadas que proporcionam a redução no tempo de construção, no qual é importante, pois o local da obra está localizado em uma área urbana no centro da Cidade de Teresina, com pouco espaço disponível para o canteiro de obras e para o fluxo de veículos com materiais. Além disso, a utilização de estruturas metálicas concede uma melhor utilização do espaço útil, sendo de grande importância para a divisão das vagas de estacionamento deste projeto.

Dessa maneira, se constatou um aumento de aproximadamente 240% do número de vagas, se comparado ao atual estacionamento, mostrando assim que este projeto solucionaria o problema da falta de vagas para o estacionamento interno destinado aos servidores, sendo, portanto, de grande relevância para a Instituição.

Com relação ao software Cype 3D, este mostrou-se bem intuitivo, com um ambiente de trabalho e ferramentas de fácil manuseio, sendo assim uma ótima ferramenta para os projetistas de estruturas metálicas. O software segue todas as normas vigentes na NBR 8800, e, portanto, apto a ser utilizado em projetos no Brasil.

O código de obras de Teresina foi importante para esse trabalho pois mostrou-se de fácil entendimento, encontrado no site da prefeitura municipal de Teresina. Todos os tópicos relacionados as regras para a construção deste edifício foram seguidas para o dimensionamento do projeto.

Ademais, com esse projeto alternativo, espera-se que o mesmo seja executado e utilizado como uma solução viável para aumentar o número de vagas no estacionamento do Campus Teresina Central. O impacto esperado com este trabalho refere-se também no âmbito profissional, no qual mostra-se a competência do formando em desenvolver de forma humanista, crítica e reflexiva as atividades de concepção e projeto estrutural.

REFERÊNCIAS

AECWEB. **Como garantir o desempenho das ligações soldadas de estruturas.** Disponível em: <<https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/como-garantir-o-desempenho-das-ligacoes-soldadas-de-estruturas-metalicas>>. Acesso em 06 jan. 2019.

AÇO PLANO. Veja as principais vantagens do Steel Deck. Disponível em: <<http://www.acoplano.com.br/blog/veja-as-principais-vantagens-do-steel-deck/>>. Acesso em 12 jan. 2019

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800: 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 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações.** Rio de Janeiro, 1980.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5884: Perfis estruturais soldados de aço.** Rio de Janeiro, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14762: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio.** Rio de Janeiro, 2001.

BANDEIRA, A.A.C. **Análise do uso de estruturas de aço em edificações habitacionais de interesse social.** 2008. 109 f. Trabalho de conclusão de curso (especialização em construção civil) – Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2008.

BELLEI, I.H.; **Edifícios Industriais em Aço: Projeto e Cálculo.** 2.ed. Revisada. São Paulo: Pini, 1998.

BEVILAQUA, R. Edifícios garagem estruturados em aço. **Congresso Latino-Americano da construção metálica**, São Paulo, de ago. a set. 2010. Disponível em: <https://www.abcem.org.br/construmetal/2010/downloads/contribuicoes-tecnicas/19-edificios-garagem-estruturados-em-aco.pdf> . Acesso em: 18 dez. 2018.

BRANDÃO, T. **Edifício garagem América, o primeiro estacionamento vertical da cidade.** Disponível em: <<https://spcity.com.br/edificio-garagem-america-o-primeiro-estacionamento-vertical-da-cidade/>>. acesso em: 05 jan. 2019.

CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO (CBCA): Disponível em: <<http://www.cbca-acobrasil.org.br/site/noticias-detalhes.php?cod=7072>>. Acesso em nov. 2018.

CHAVES, M.R. **Avaliação do desempenho de soluções estruturais para galpões industriais leves**. Disponível em: http://www.metalica.com.br/pg_dinamica/bin/pg_dinamica.php?id_pag=1207 . Acesso em 8 jan. 2019.

CHIAVERINI, V.; **Aços e Ferros Fundidos**: Características gerais, Tratamentos térmicos e principais tipos. 7.ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metalúrgica e Materiais, 2002.

CHIAVERINI, V.; **Tecnologia Mecânica**: Processos de fabricação e tratamento. 2.ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1986.

CYPE 3D. **Site Cype 3D**. Disponível em: < <http://cype3d.cype.pt/> > Acesso em 11 jan. 2019.

DIAS, I.A.M.; **Estruturas de aço**: Conceitos, técnicas e linguagem. São Paulo: Zigurate Editora, 1997.

DIAS, R.H. **Sistemas estruturais para grandes vãos em pisos e a influência na concepção arquitetônica**. Disponível em: https://teklastructures.support.tekla.com/pt-pt/210/pt-pt/ext_flat_truss > Acesso em 10 jan. 2019.

ENGENHARIA CIVIL NA INTERNET. Ligações aparafusadas em estruturas metálicas abordadas em curso do Técnico. Disponível em: < <https://www.engenhariacivil.com/ligacoes-aparafusadas-estruturas-metalicas-2015> > . acesso em: 07 jan. 2019.

FRANTZ, J.L. **Dimensionamento de pavilhão industrial com estrutura em aço**. 2011. 165 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2011.

GALVISTEEL. **Telha Galvanizada Trapezoidal**. Disponível em: <https://www.galvisteel.com.br/telha-galvanizada-trapezoidal> Acesso em 13 jan. 2019.

GERDAU. **Galpões em pórticos com perfis estruturais laminados**. 5.ed., 2012. 43p.

GERDAU. **Galpões em pórticos de aço**. Disponível em: <https://www.gerdau.com.br/pt/productservices/products/Document%20Gallery/artigo-galpao.pdf> . Acesso em 07 jan. 2019.

GOOGLE SITES. **Histórico da construção metálica**. Disponível em: < <https://www.sites.google.com/site/acoufmg/home/historico> > . acesso em: 05 jan. 2019.

GUARNIER, C.R.F. **Metodologias de detalhamento de estruturas metálicas**. 2009. 376 f. Dissertação (Programa de pós-graduação) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **Galpões para usos Gerais**, Rio de Janeiro, 2010. 10p.

LEI COMPLEMENTAR Nº 4.729, DE 10 DE JUN. DE 2015. **Código de obras e edificações de Teresina**, Teresina, PI. Disponível em:
<http://semplan.35.193.186.134.xip.io/wp-content/uploads/sites/39/2015/06/Lei-nº-4.729-Comp-de-10.06.2015-Novo-Código-de-Obras-e-Edificações-de-Teresina.pdf>

MELO, P.R. **Pré-dimensionamento de estruturas de madeira, de aço e de concreto para auxílio à concepção de projetos arquitetônicos**. 2013. 105 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

NARDIN, F.Â. **A importância da estrutura metálica na construção civil**. 2008. 63 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade São Francisco, Itatiba, 2008.

PEREIRA, V.F. **Integração entre sistemas de cobertura metálica e estrutura de concreto em galpões**. Disponível em:<
<https://www.institutodeengenharia.org.br/site/wpcontent/uploads/2017/10/arqnot4172.pdf>>. Acesso em 8 jan. 2019.

PFEIL, W.; PFEIL, M.; **Estruturas de aço**: Dimensionamento Prático de Acordo com a NBR:8800:2008. 8.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

PINHEIRO, A.C.F.B.; **Estruturas Metálicas**: Cálculos, detalhes, exercícios e projetos. 2.ed. São Paulo: Blucher, 2005.

PRAVIA, Z.M.C.; FICANHA, R.A.; FABEANE, R.; **Projeto e Cálculo de Estruturas de aço**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

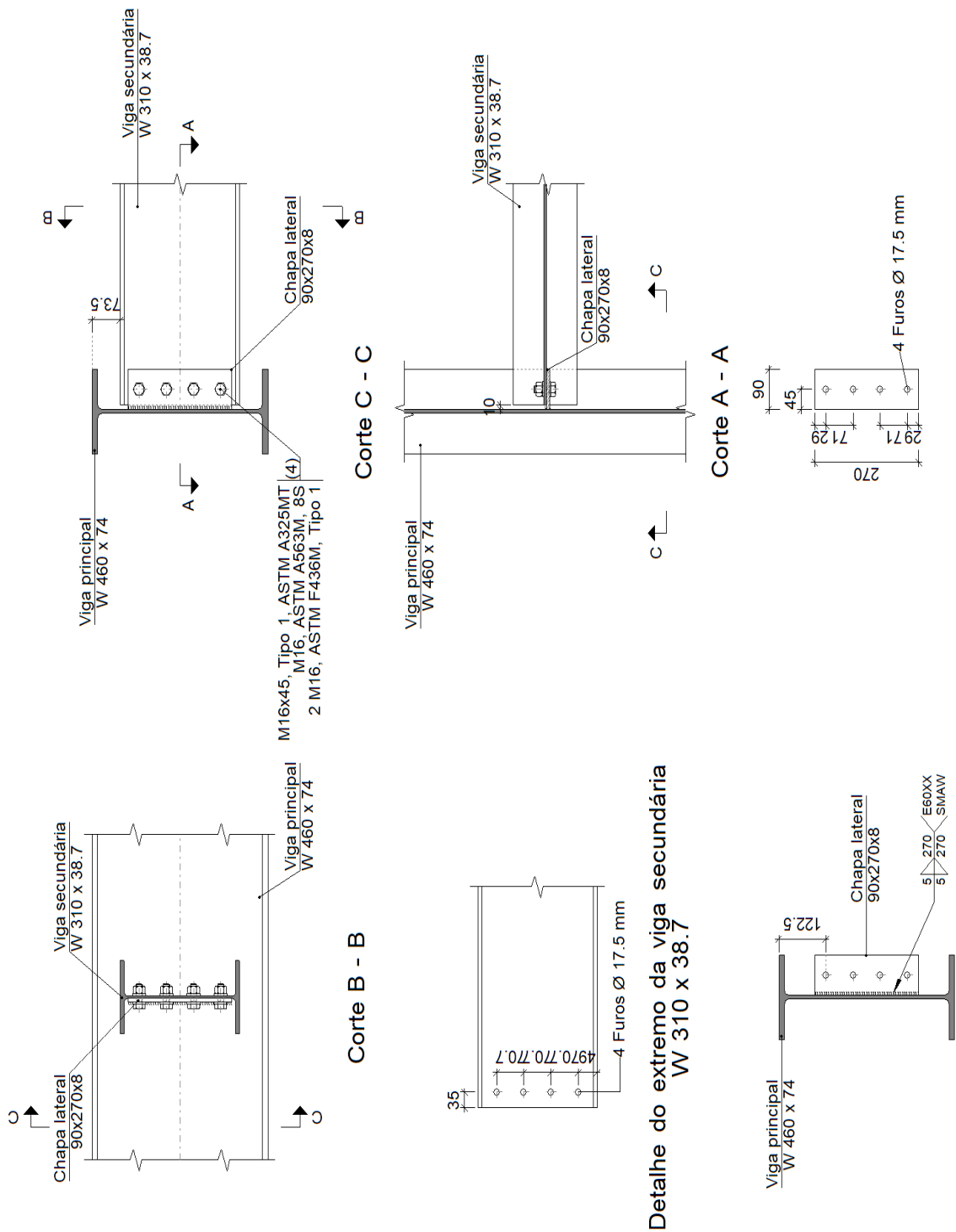
ROMAN, R. **Upload na plataforma ResearchGate**. Disponível em:<
https://www.researchgate.net/figure/Figura-14-Tirantes-nas-tercas_fig12_314261748>. Acesso em 8 jan. 2019.

SOLUÇÕES INDUSTRIAIS. **Instalações e equipamento industrial**. Disponível em:
https://www.solucoesindustriais.com.br/empresa/instalacoes_e_equipamento_industrial/serralheria-barros/produtos/metais/comprar-estrutura-metalica. Acesso em 07 jan. 2019.

TEKLA STRUCTURES. **Treliça plana**. Disponível em:
 <https://teklastructures.support.tekla.com/pt-pt/210/pt-pt/ext_flat_truss>. Acesso em 10 jan. 2019.

VÃO LIVRE. **Um pouco sobre a construção em aço**. Disponível em:<
<http://www.vaolive.com.br/produtos.html>> Acesso em 12 jan. 2019

Ligação Viga-Viga



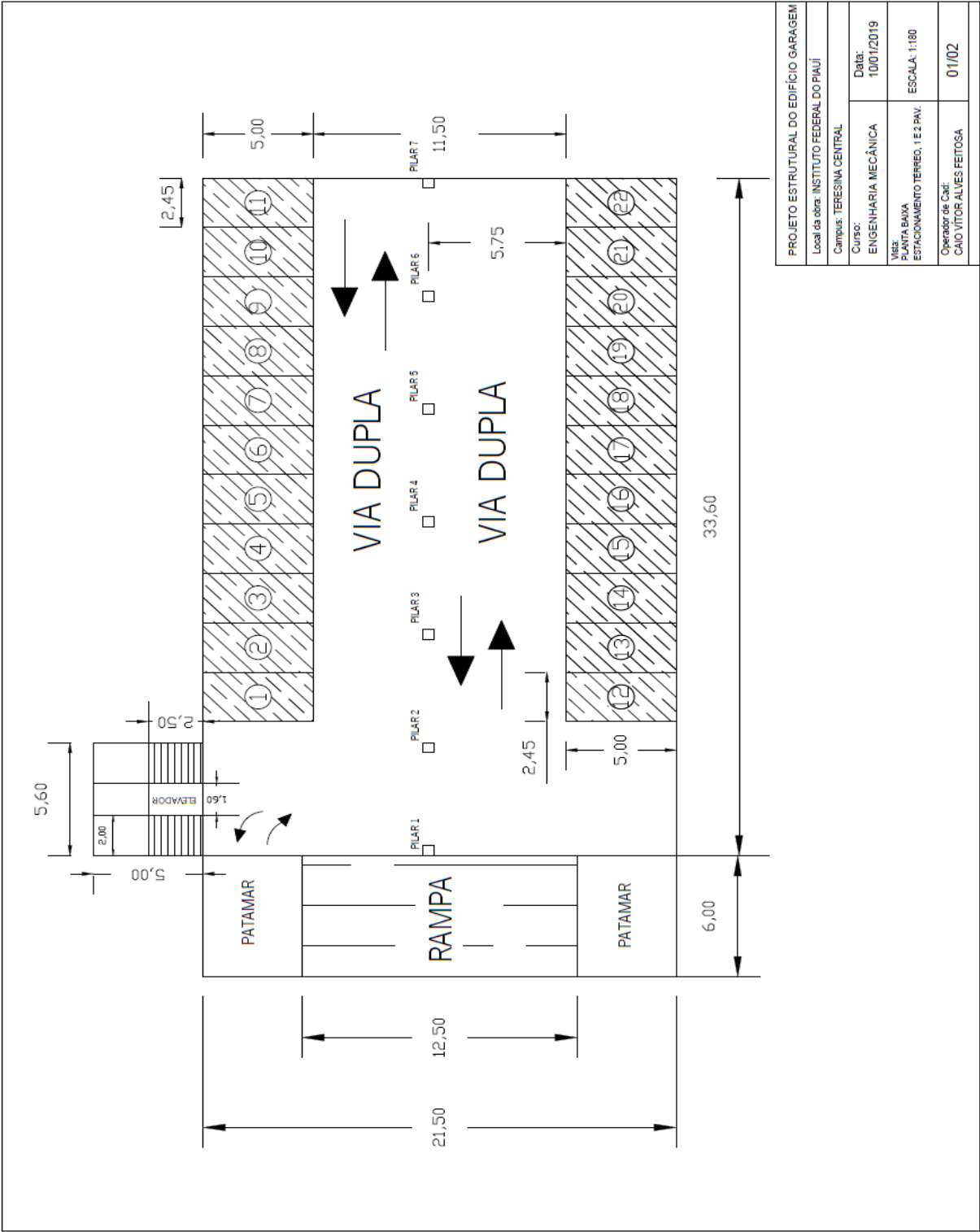
Chapa lateral da viga W 310 x 38.7
(e = 8 mm)

Detalhe da solda da chapa lateral.

Fonte: Autoria própria (2019).

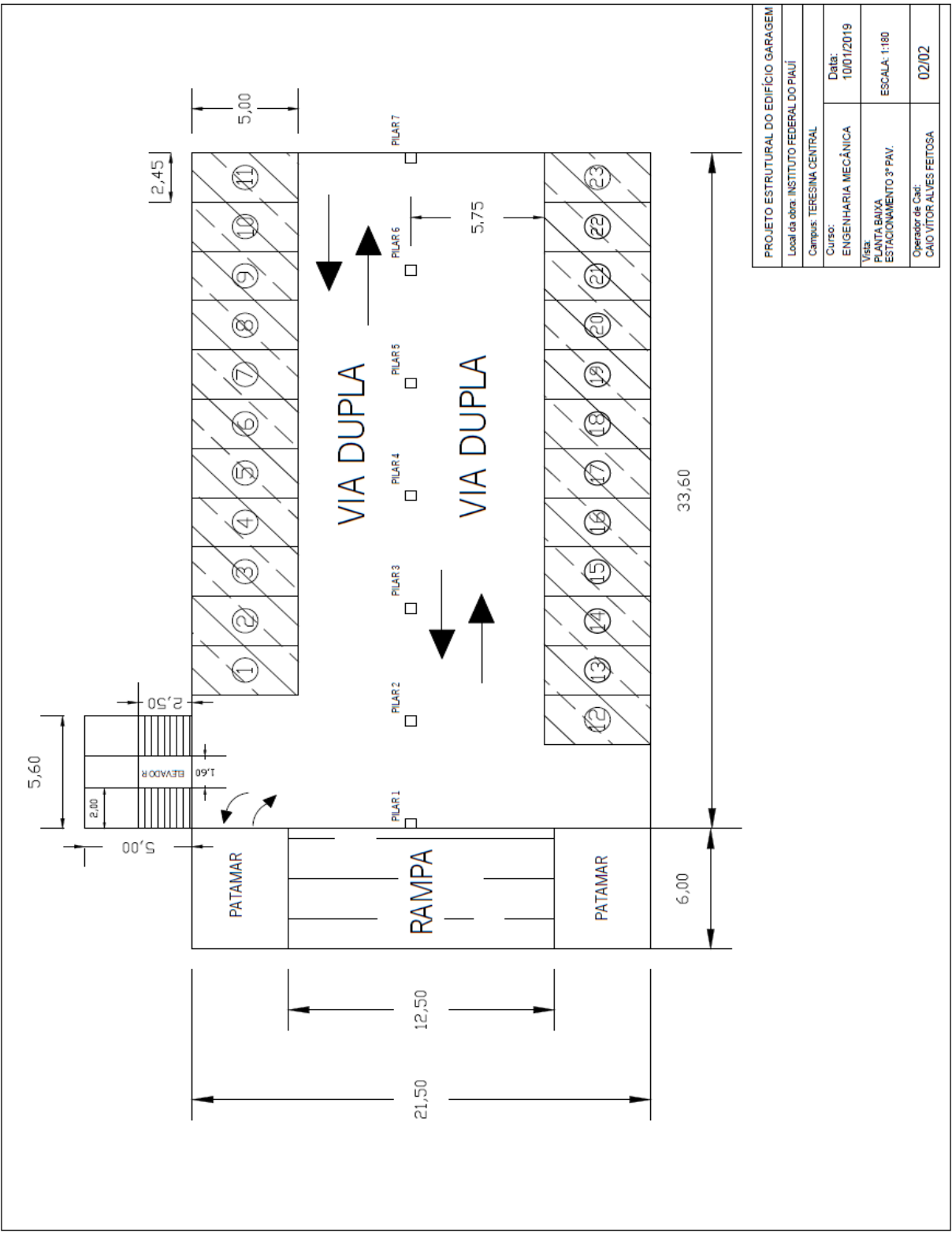
APÊNDICE B - Planta baixa do estacionamento

Térreo, 1º e 2º Pavimentos



Fonte: Autoria Própria (2019).

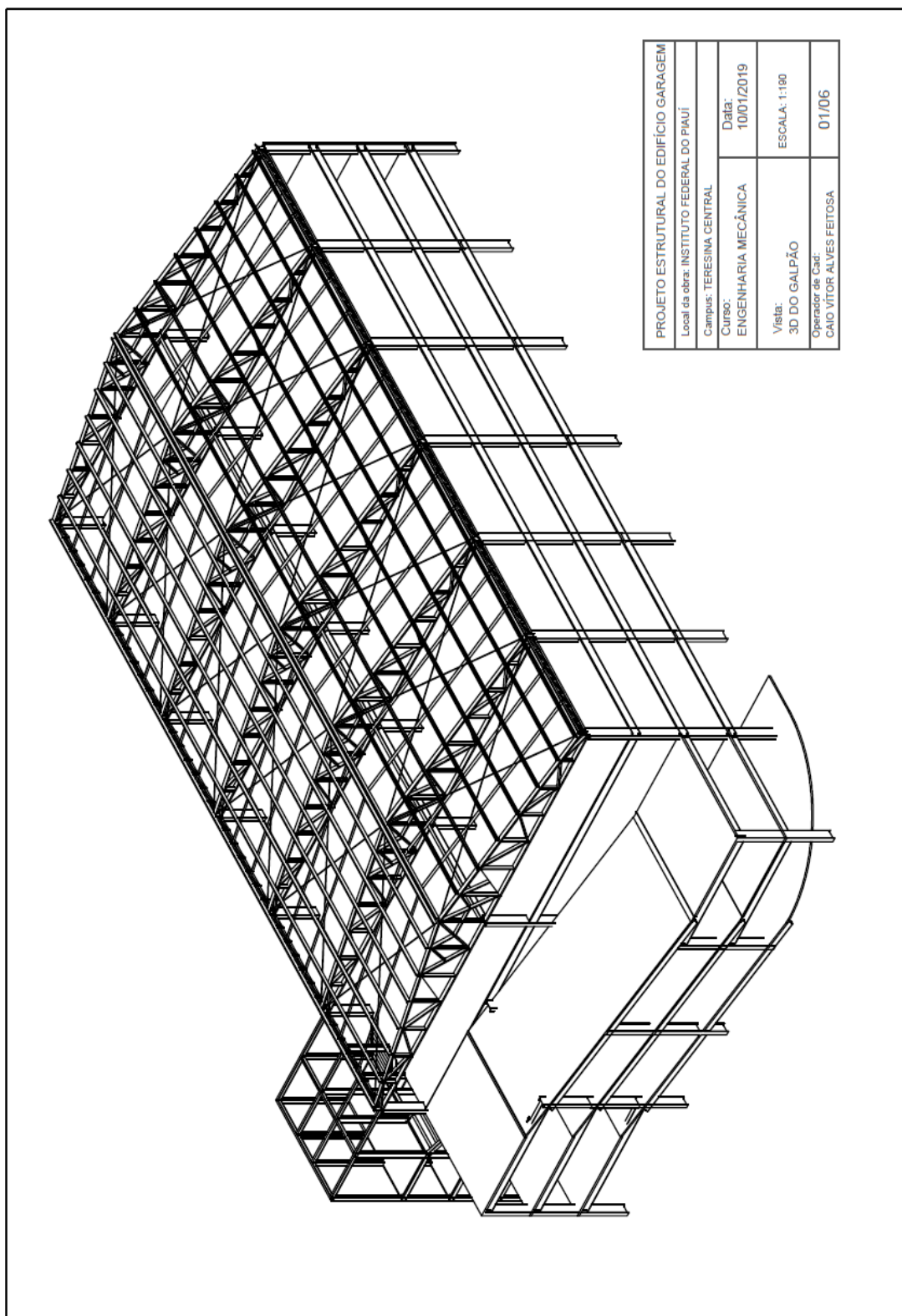
3º Pavimento



Fonte: Autoria Própria (2019).

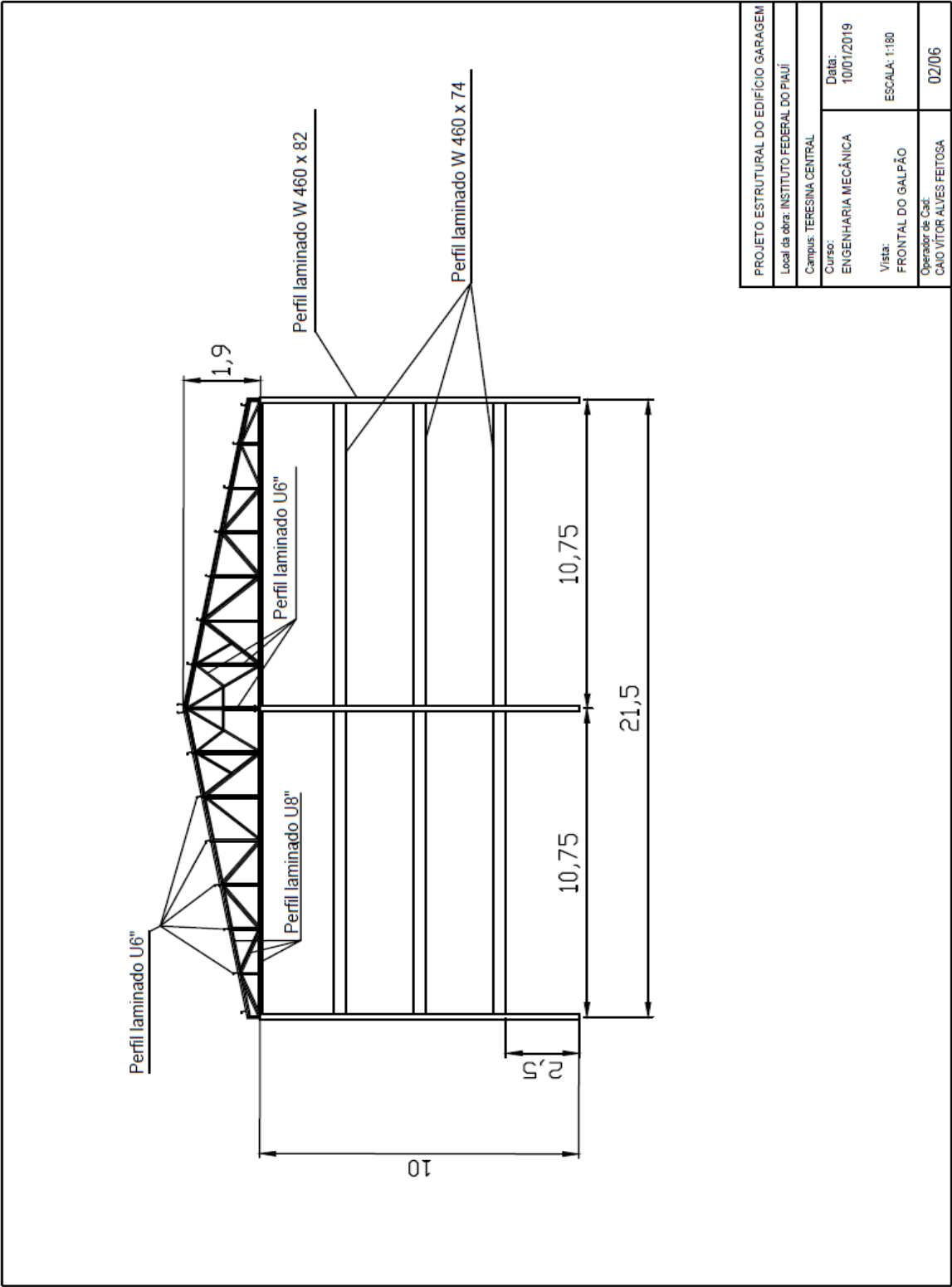
APÊNDICE C – Vistas do projeto

Vista 3d do galpão



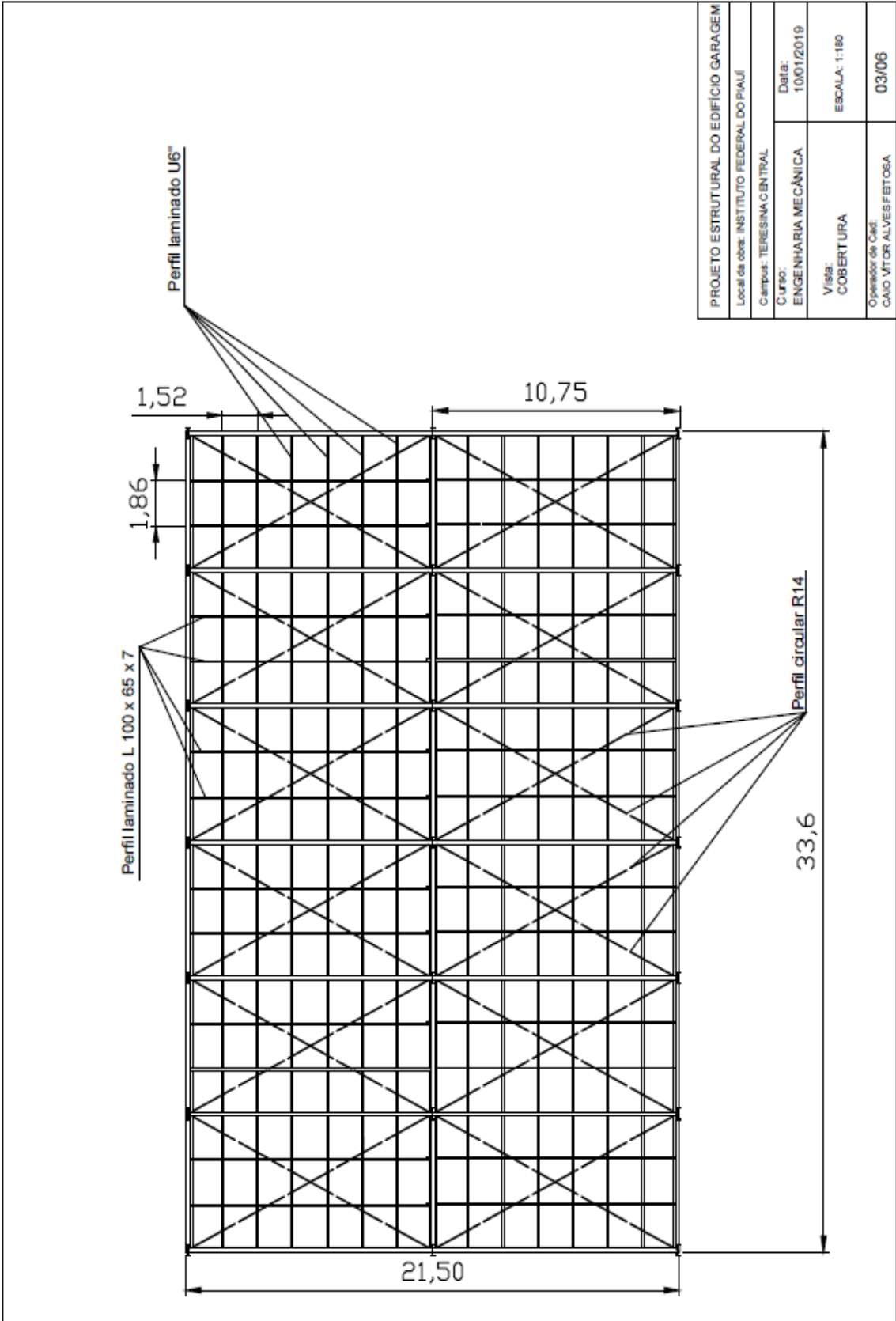
Fonte: Autoria própria (2019).

Vista frontal do galpão



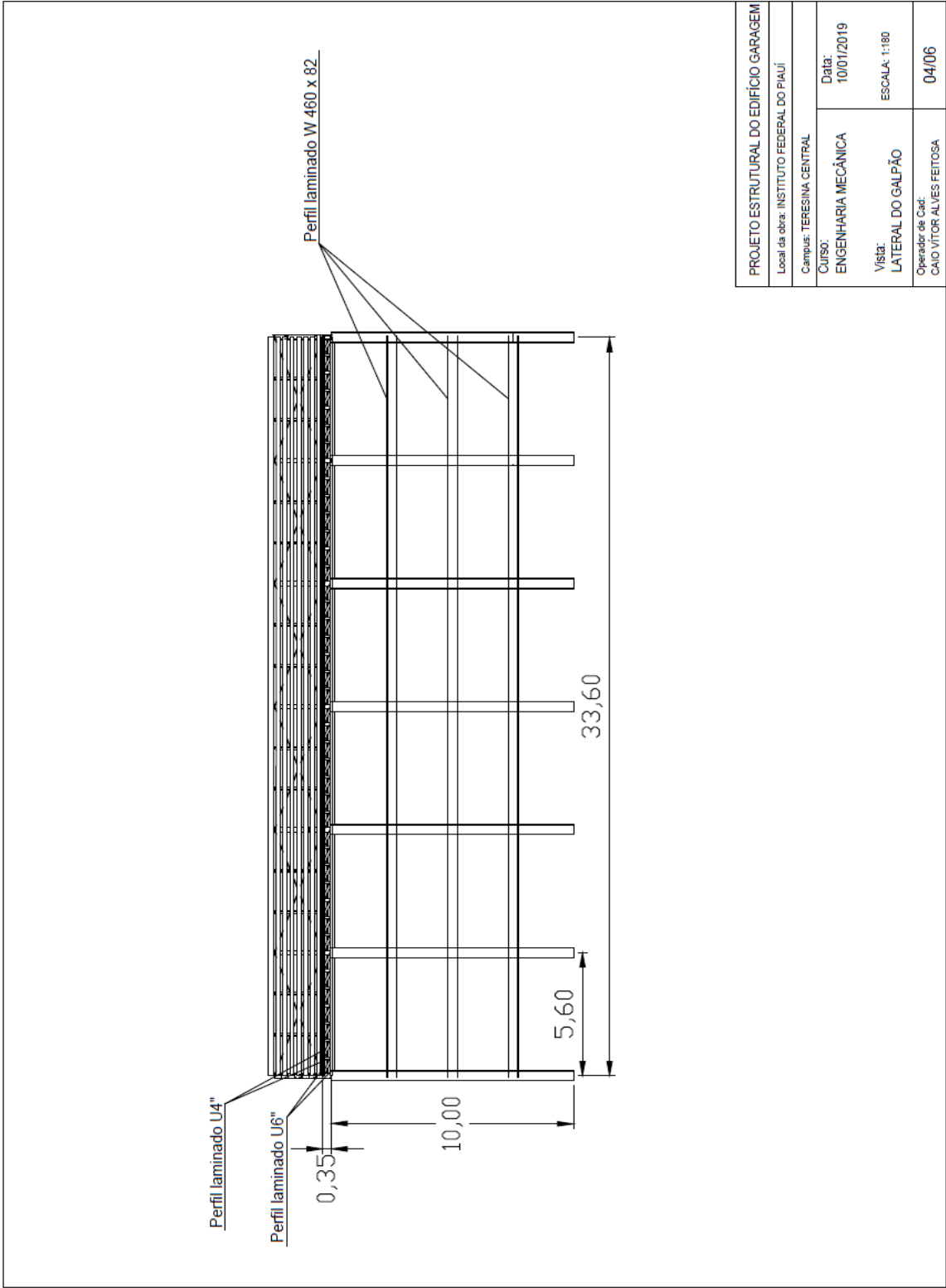
Fonte: Autoria própria (2019).

Vista da cobertura do galpão



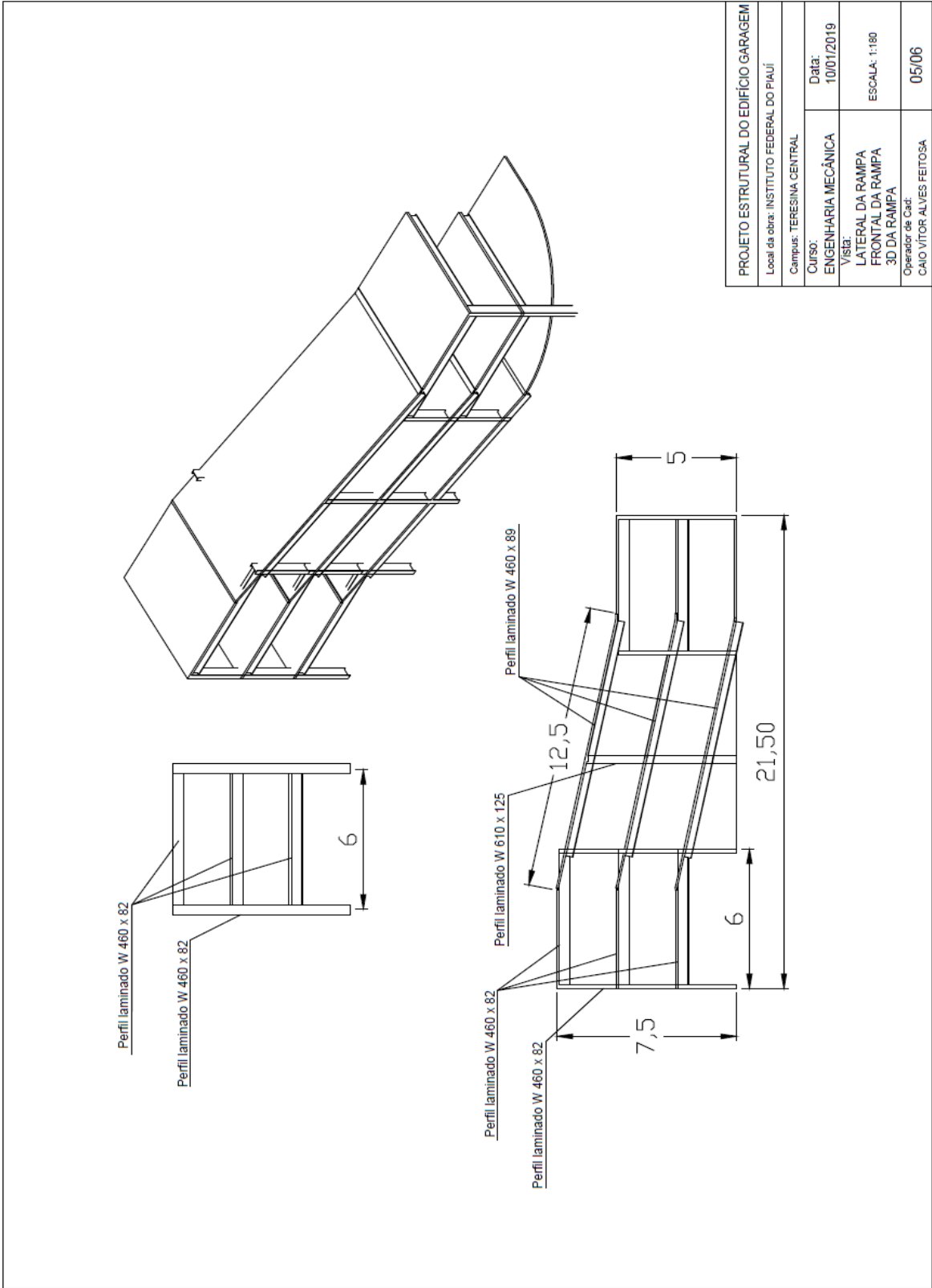
Fonte: Autoria própria (2019).

Vista lateral do galpão



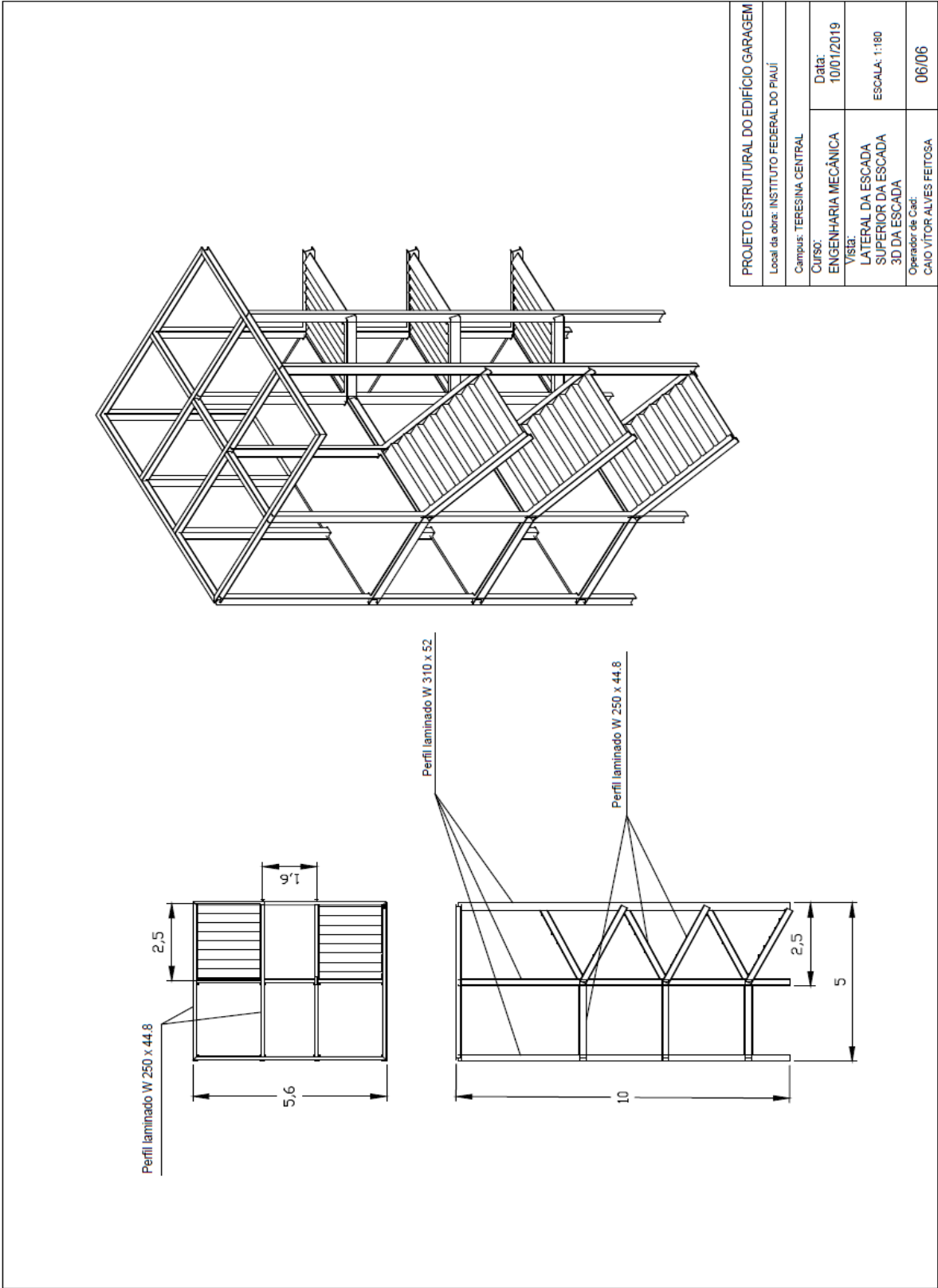
Fonte: Autoria própria (2019).

Vista da rampa de acesso para veículos



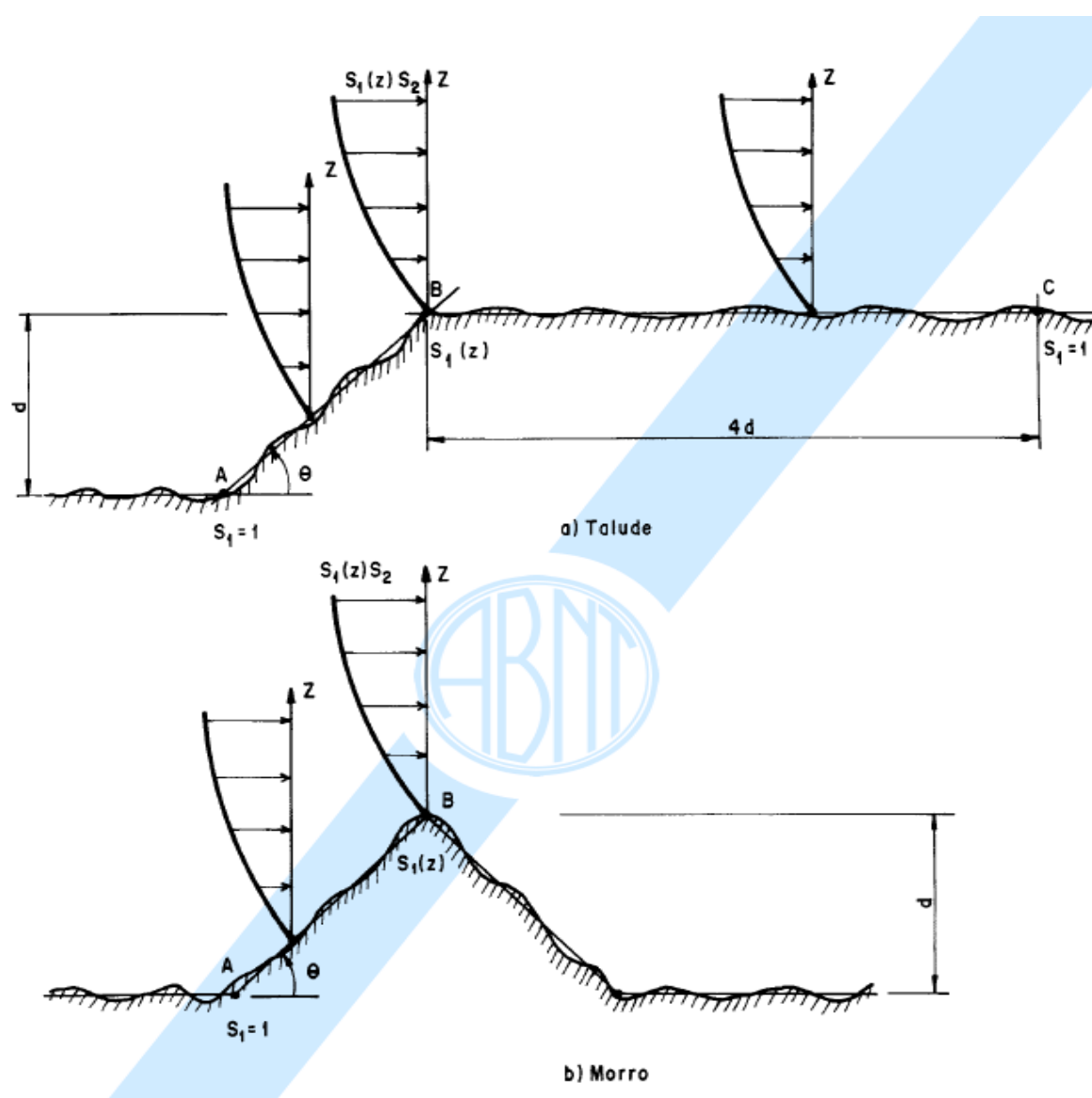
Fonte: Autoria própria (2019).

Vista da escada



Fonte: Autoria própria (2019).

ANEXO A - Fator topográfico (S_1)



Fonte: NBR 6123

ANEXO B - Fator de rugosidade (S_2)

Tabela 1 - Parâmetros meteorológicos

Categoria	z_0 (m)	Parâmetro	Classes		
			A	B	C
I	250	b	1,10	1,11	1,12
		p	0,06	0,065	0,07
II	300	b	1,00	1,00	1,00
		F_r	1,00	0,98	0,95
		p	0,085	0,09	0,10
III	350	b	0,94	0,94	0,93
		p	0,10	0,105	0,115
IV	420	b	0,86	0,85	0,84
		p	0,12	0,125	0,135
V	500	b	0,74	0,73	0,71
		p	0,15	0,16	0,175

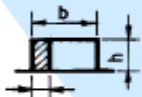
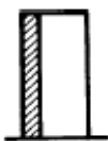
Tabela 2 - Fator S_2

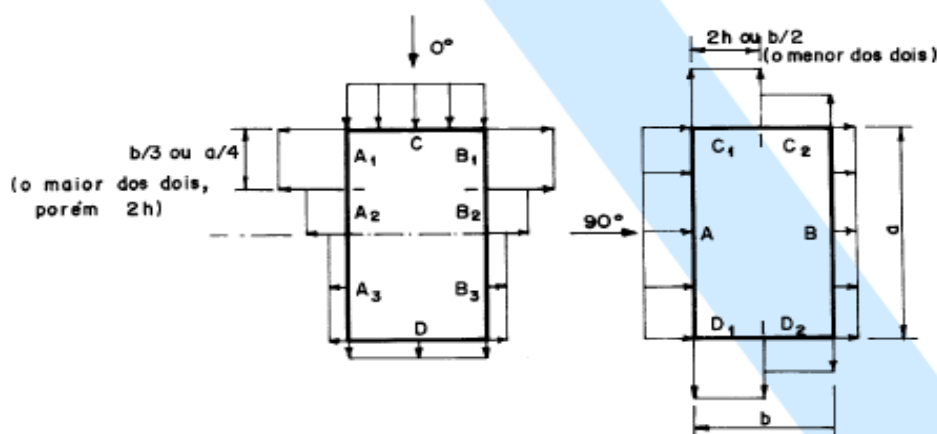
z (m)	Categoria														
	I			II			III			IV			V		
	Classe			Classe			Classe			Classe			Classe		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
≤ 5	1,06	1,04	1,01	0,94	0,92	0,89	0,88	0,86	0,82	0,79	0,76	0,73	0,74	0,72	0,67
10	1,10	1,09	1,06	1,00	0,98	0,95	0,94	0,92	0,88	0,86	0,83	0,80	0,74	0,72	0,67
15	1,13	1,12	1,09	1,04	1,02	0,99	0,98	0,96	0,93	0,90	0,88	0,84	0,79	0,76	0,72
20	1,15	1,14	1,12	1,06	1,04	1,02	1,01	0,99	0,96	0,93	0,91	0,88	0,82	0,80	0,76
30	1,17	1,17	1,15	1,10	1,08	1,06	1,05	1,03	1,00	0,98	0,96	0,93	0,87	0,85	0,82
40	1,20	1,19	1,17	1,13	1,11	1,09	1,08	1,06	1,04	1,01	0,99	0,96	0,91	0,89	0,86
50	1,21	1,21	1,19	1,15	1,13	1,12	1,10	1,09	1,06	1,04	1,02	0,99	0,94	0,93	0,89
60	1,22	1,22	1,21	1,16	1,15	1,14	1,12	1,11	1,09	1,07	1,04	1,02	0,97	0,95	0,92
80	1,25	1,24	1,23	1,19	1,18	1,17	1,16	1,14	1,12	1,10	1,08	1,06	1,01	1,00	0,97
100	1,26	1,26	1,25	1,22	1,21	1,20	1,18	1,17	1,15	1,13	1,11	1,09	1,05	1,03	1,01
120	1,28	1,28	1,27	1,24	1,23	1,22	1,20	1,20	1,18	1,16	1,14	1,12	1,07	1,06	1,04
140	1,29	1,29	1,28	1,25	1,24	1,24	1,22	1,22	1,20	1,18	1,16	1,14	1,10	1,09	1,07
160	1,30	1,30	1,29	1,27	1,26	1,25	1,24	1,23	1,22	1,20	1,18	1,16	1,12	1,11	1,10
180	1,31	1,31	1,31	1,28	1,27	1,27	1,26	1,25	1,23	1,22	1,20	1,18	1,14	1,14	1,12
200	1,32	1,32	1,32	1,29	1,28	1,28	1,27	1,26	1,25	1,23	1,21	1,20	1,16	1,16	1,14
250	1,34	1,34	1,33	1,31	1,31	1,31	1,30	1,29	1,28	1,27	1,25	1,23	1,20	1,20	1,18
300	-	-	-	1,34	1,33	1,33	1,32	1,32	1,31	1,29	1,27	1,26	1,23	1,23	1,22
350	-	-	-	-	-	-	1,34	1,34	1,33	1,32	1,30	1,29	1,26	1,26	1,26
400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,34	1,32	1,32	1,29	1,29	1,29
420	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,35	1,35	1,33	1,30	1,30	1,30
450	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,32	1,32	1,32
500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,34	1,34	1,34

Fonte: NBR 6123

ANEXO C - Coeficientes de pressão e de forma externos para paredes de edificações de planta regular

Tabela 4 - Coeficientes de pressão e de forma, externos, para paredes de edificações de planta retangular

Altura relativa		Valores de C_{pe} para								c_{pe} médio 
		$\alpha = 0^\circ$				$\alpha = 90^\circ$				
		A_1 e B_1	A_2 e B_2	C	D	A	B	C_1 e D_1	C_2 e D_2	
 $0,2 b$ ou h (o menor dos dois) $\frac{h}{b} \leq \frac{1}{2}$	$1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$	- 0,8	- 0,5	+ 0,7	- 0,4	+ 0,7	- 0,4	- 0,8	- 0,4	- 0,9
	$2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$	- 0,8	- 0,4	+ 0,7	- 0,3	+ 0,7	- 0,5	- 0,9	- 0,5	- 1,0
 $\frac{1}{2} < \frac{h}{b} \leq \frac{3}{2}$	$1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$	- 0,9	- 0,5	+ 0,7	- 0,5	+ 0,7	- 0,5	- 0,9	- 0,5	- 1,1
	$2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$	- 0,9	- 0,4	+ 0,7	- 0,3	+ 0,7	- 0,6	- 0,9	- 0,5	- 1,1
 $\frac{3}{2} < \frac{h}{b} \leq 6$	$1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$	- 1,0	- 0,6	+ 0,8	- 0,6	+ 0,8	- 0,6	- 1,0	- 0,6	- 1,2
	$2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$	- 1,0	- 0,5	+ 0,8	- 0,3	+ 0,8	- 0,6	- 1,0	- 0,6	- 1,2



Notas: a) Para a/b entre $3/2$ e 2 , interpolar linearmente.

b) Para vento a 0° , nas partes A_1 e B_1 , o coeficiente de forma C_{pe} tem os seguintes valores:

- para $a/b = 1$: mesmo valor das partes A_2 e B_2 ;
- para $a/b \geq 2$: $C_{pe} = -0,2$;
- para $1 < a/b < 2$: interpolar linearmente.

c) Para cada uma das duas incidências do vento (0° ou 90°), o coeficiente de pressão médio externo c_{pe} médio, é aplicado à parte de barlavento das paredes paralelas ao vento, em uma distância igual a $0,2 b$ ou h , considerando-se o menor destes dois valores.

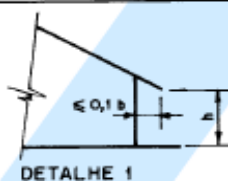
d) Para determinar o coeficiente de arrasto, C_{pe} , deve ser usado o gráfico da Figura 4 (vento de baixa turbulência) ou da Figura 5 (vento de alta turbulência - ver 6.5.3).

Fonte: NBR 6123

ANEXO D - Coeficiente de pressão para os telhados de duas águas simétricos para edificações de planta retangular

Tabela 5 - Coeficientes de pressão e de forma, externos, para telhados com duas águas, simétricos, em edificações de planta retangular

Altura relativa	θ	Valores de C_{pe} para				C_{pe} médio			
		$\alpha = 90^\circ (A)$		$\alpha = 0^\circ$					
		EF	GH	EG	FH				
	0°	-0,8	-0,4	-0,8	-0,4	-2,0	-2,0	-2,0	--
	5°	-0,9	-0,4	-0,8	-0,4	-1,4	-1,2	-1,2	-1,0
	10°	-1,2	-0,4	-0,8	-0,6	-1,4	-1,4		-1,2
	15°	-1,0	-0,4	-0,8	-0,6	-1,4	-1,2		-1,2
	20°	-0,4	-0,4	-0,7	-0,6	-1,0			-1,2
	30°	0	-0,4	-0,7	-0,6	-0,8			-1,1
	45°	+0,3	-0,5	-0,7	-0,6				-1,1
	60°	+0,7	-0,6	-0,7	-0,6				-1,1
	0°	-0,8	-0,6	-1,0	-0,6	-2,0	-2,0	-2,0	--
	5°	-0,9	-0,6	-0,9	-0,6	-2,0	-2,0	-1,5	-1,0
	10°	-1,1	-0,6	-0,8	-0,6	-2,0	-2,0	-1,5	-1,2
	15°	-1,0	-0,6	-0,8	-0,6	-1,8	-1,5	-1,5	-1,2
	20°	-0,7	-0,5	-0,8	-0,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,0
	30°	-0,2	-0,5	-0,8	-0,8	-1,0			-1,0
	45°	+0,2	-0,5	-0,8	-0,8				
	60°	+0,6	-0,5	-0,8	-0,8				
	0°	-0,8	-0,6	-0,9	-0,7	-2,0	-2,0	-2,0	--
	5°	-0,8	-0,6	-0,8	-0,8	-2,0	-2,0	-1,5	-1,0
	10°	-0,8	-0,6	-0,8	-0,8	-2,0	-2,0	-1,5	-1,2
	15°	-0,8	-0,6	-0,8	-0,8	-1,8	-1,8	-1,5	-1,2
	20°	-0,8	-0,6	-0,8	-0,8	-1,5	-1,5	-1,5	-1,2
	30°	-1,0	-0,5	-0,8	-0,7	-1,5			
	40°	-0,2	-0,5	-0,8	-0,7	-1,0			
	50°	+0,2	-0,5	-0,8	-0,7				
	60°	+0,5	-0,5	-0,8	-0,7				



Notas: a) O coeficiente de forma C_{pe} na face inferior do beiral é igual ao da parede correspondente.

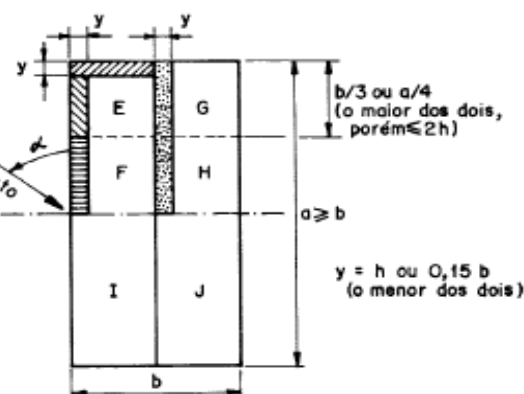
b) Nas zonas em torno de partes de edificações salientes ao telhado (chaminés, reservatórios, torres, etc.), deve ser considerado um coeficiente de forma $C_{pe} = 1,2$, até uma distância igual à metade da dimensão da diagonal da saliência vista em planta.

c) Na cobertura de lanternins, C_{pe} médio = - 2,0.

d) Para vento a 0°, nas partes I e J o coeficiente de forma C_{pe} tem os seguintes valores:

a/b = 1: mesmo valor das partes F e H; a/b ≥ 2: $C_{pe} = - 0,2$.

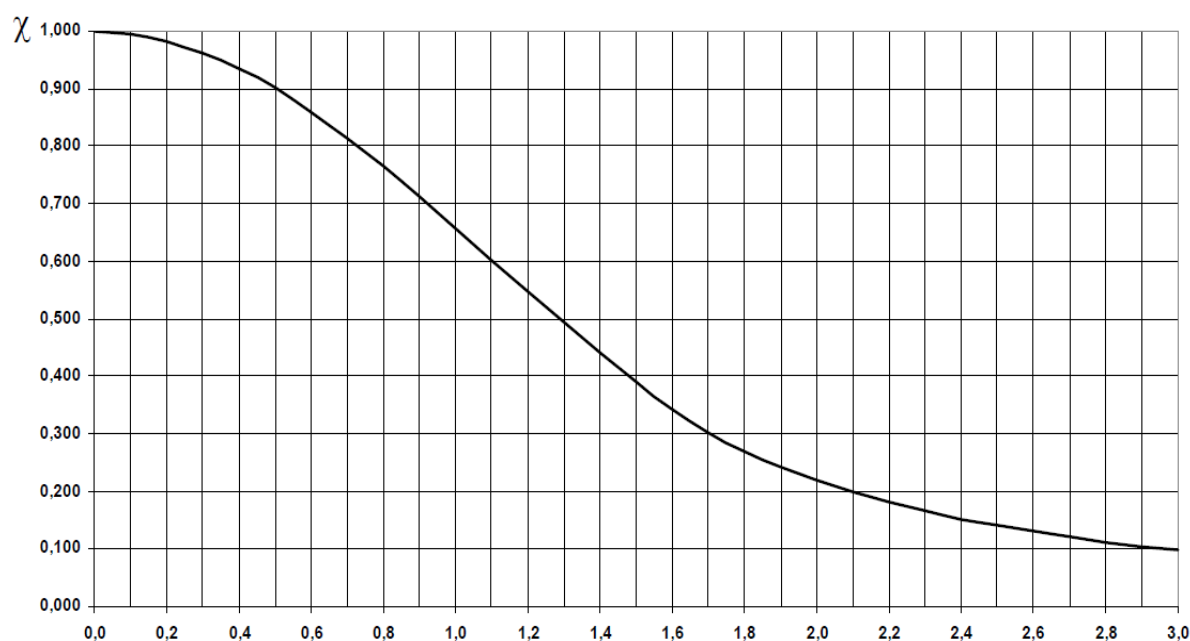
Interpolam linearmente para valores intermediários de a/b.



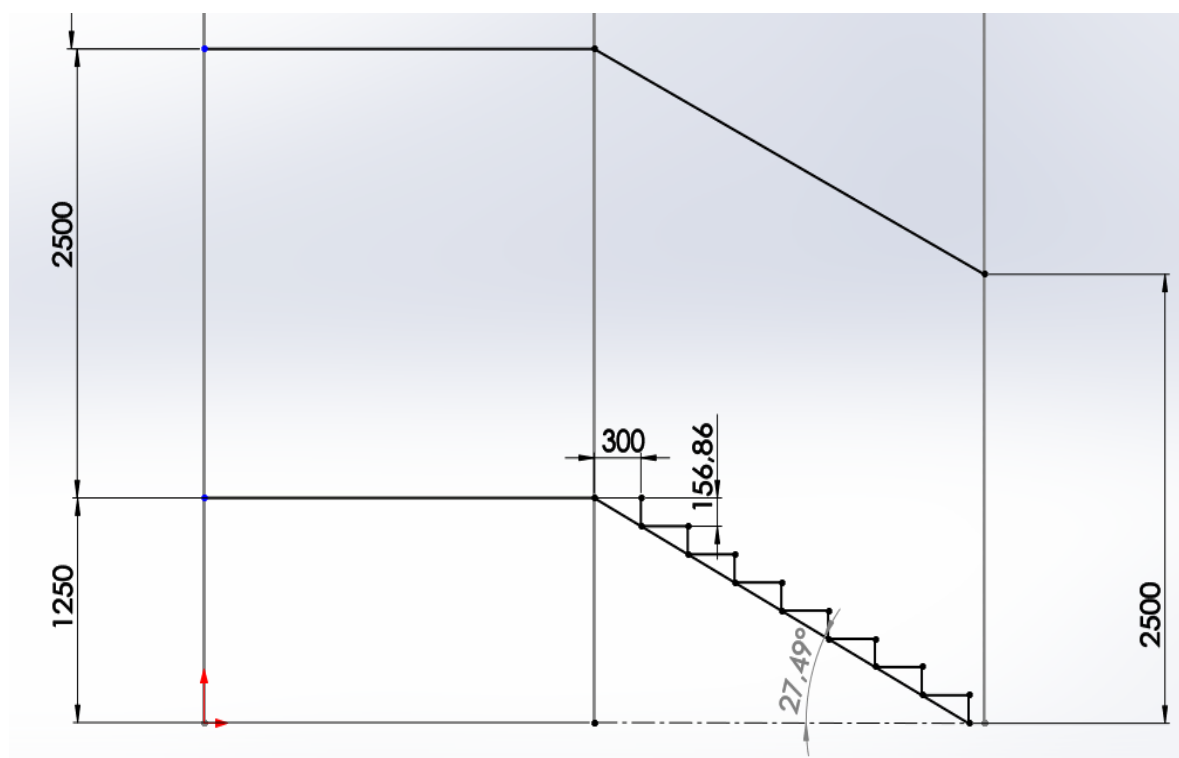
Fonte: NBR 6123

ANEXO E - Valor de χ em função do índice de esbeltez λ_0

λ_0	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	λ_0
0,0	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999	0,999	0,998	0,998	0,997	0,997	0,0
0,1	0,996	0,995	0,994	0,993	0,992	0,991	0,989	0,988	0,987	0,985	0,1
0,2	0,983	0,982	0,980	0,978	0,976	0,974	0,972	0,970	0,968	0,965	0,2
0,3	0,963	0,961	0,958	0,955	0,953	0,950	0,947	0,944	0,941	0,938	0,3
0,4	0,935	0,932	0,929	0,926	0,922	0,919	0,915	0,912	0,908	0,904	0,4
0,5	0,901	0,897	0,893	0,889	0,885	0,881	0,877	0,873	0,869	0,864	0,5
0,6	0,860	0,856	0,851	0,847	0,842	0,838	0,833	0,829	0,824	0,819	0,6
0,7	0,815	0,810	0,805	0,800	0,795	0,790	0,785	0,780	0,775	0,770	0,7
0,8	0,765	0,760	0,755	0,750	0,744	0,739	0,734	0,728	0,723	0,718	0,8
0,9	0,712	0,707	0,702	0,696	0,691	0,685	0,680	0,674	0,669	0,664	0,9
1,0	0,658	0,652	0,647	0,641	0,636	0,630	0,625	0,619	0,614	0,608	1,0
1,1	0,603	0,597	0,592	0,586	0,580	0,575	0,569	0,564	0,558	0,553	1,1
1,2	0,547	0,542	0,536	0,531	0,525	0,520	0,515	0,509	0,504	0,498	1,2
1,3	0,493	0,488	0,482	0,477	0,472	0,466	0,461	0,456	0,451	0,445	1,3
1,4	0,440	0,435	0,430	0,425	0,420	0,415	0,410	0,405	0,400	0,395	1,4
1,5	0,390	0,385	0,380	0,375	0,370	0,365	0,360	0,356	0,351	0,347	1,5
1,6	0,343	0,338	0,334	0,330	0,326	0,322	0,318	0,314	0,311	0,307	1,6
1,7	0,303	0,300	0,296	0,293	0,290	0,286	0,283	0,280	0,277	0,274	1,7
1,8	0,271	0,268	0,265	0,262	0,259	0,256	0,253	0,251	0,248	0,246	1,8
1,9	0,243	0,240	0,238	0,235	0,233	0,231	0,228	0,226	0,224	0,221	1,9
2,0	0,219	0,217	0,215	0,213	0,211	0,209	0,207	0,205	0,203	0,201	2,0
2,1	0,199	0,197	0,195	0,193	0,192	0,190	0,188	0,186	0,185	0,183	2,1
2,2	0,181	0,180	0,178	0,176	0,175	0,173	0,172	0,170	0,169	0,167	2,2
2,3	0,166	0,164	0,163	0,162	0,160	0,159	0,157	0,156	0,155	0,154	2,3
2,4	0,152	0,151	0,150	0,149	0,147	0,146	0,145	0,144	0,143	0,141	2,4
2,5	0,140	0,139	0,138	0,137	0,136	0,135	0,134	0,133	0,132	0,131	2,5
2,6	0,130	0,129	0,128	0,127	0,126	0,125	0,124	0,123	0,122	0,121	2,6
2,7	0,120	0,119	0,119	0,118	0,117	0,116	0,115	0,114	0,113	0,113	2,7
2,8	0,112	0,111	0,110	0,110	0,109	0,108	0,107	0,106	0,106	0,105	2,8
2,9	0,104	0,104	0,103	0,102	0,101	0,101	0,100	0,099	0,099	0,098	2,9
3,0	0,097	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,0



Fonte: NBR 8800:2008, p.45

ANEXO F - Esboço 2D da escada com dimensões em milímetros

Fonte: SolidWorks (2019)